第2版



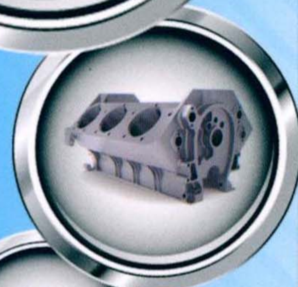
柴油发动机
高压共轨电控系统原理与故障检修

◎ 郭建樑 主编

CHAIYOU FADONGJI
GAOYA GONGGUI DIANKONG XITONG
YUANLI YU GUZHANG JIANXIU













机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

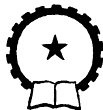
VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

柴油发动机高压共轨电控系统原理与故障检修

第 2 版

主编　郭建樑
参编　周　敏　何开明　孙步瀛　乔玉强
　　　刘胜利　于永红　孙明霞　徐同浦
　　　刘朝辉　史晋文



机 械 工 业 出 版 社

本书采用全新的阶梯式、系统化的编写方法，对柴油发动机电控原理和高压共轨系统的结构、原理和故障诊断、检查方法进行了详细的讲解，使读者能尽快掌握电控技术并达到能够自主维修的能力。本书主要内容包括电控高压共轨柴油发动机概述、柴油发动机高压共轨燃油系统的结构和原理；高压共轨电控系统电路与检修、柴油机高压共轨电控系统故障诊断与维修。

本书条理清楚，讲解详细，简单明了，由浅入深，层层引入，图文并茂，具有较强的针对性和实用性。本书适合柴油机燃油系统的维修人员、汽车电气维修人员学习，也可作为有关院校、职业学校汽车专业学生的辅助教材。

图书在版编目（CIP）数据

柴油发动机高压共轨电控系统原理与故障检修/郭建樑主编. —2版. —北京：机械工业出版社，2015.6

ISBN 978-7-111-49925-1

Ⅰ.①柴… Ⅱ.①郭… Ⅲ.①柴油机-电气控制系统-故障修复 Ⅳ.①U464.172

中国版本图书馆CIP数据核字（2015）第074372号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：丁 锋 责任编辑：丁 锋 责任校对：张晓蓉
封面设计：张 静 责任印制：刘 岚
三河市国英印务有限公司印刷
2015年6月第2版第1次印刷
184mm×260mm · 14印张 · 345千字
0001—3000册
标准书号：ISBN 978-7-111-49925-1
定价：49.90元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
服务咨询热线：010-88361066	机 工 官 网：www.cmpbook.com
读者购书热线：010-68326294	机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
010-88379203	金 书 网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版	教育服务网：www.cmpedu.com



前言



随着电子技术的迅猛发展和对汽车性能要求的不断提高，以及日益严格的环保要求，电子技术在汽车上的应用越来越广，特别是微型计算机技术在汽车上的应用，使现代汽车与传统汽车相比发生了翻天覆地的变化。柴油机高压共轨电控技术在车辆上的大量采用，对传统的柴油机维修人员，特别是柴油机燃油系统的校泵人员所带来的困难是空前的。因为传统的柴油机燃油系统基本上没有“电”的参与，长期以来导致了从业人员对电气知识、电气技术的忽视甚至是恐惧。目前的窘境不亚于20世纪90年代汽油发动机从化油器到电子控制燃油喷射的转变。柴油发动机电子控制的时代已经来临，而且高压共轨电子控制作为引领技术以不可阻挡的趋势向前发展，柴油机燃油系统从业人员将面临着一场技术革命。

作者长期从业于汽车维修一线，对故障维修深有体会。维修技工面对车辆故障时，除了听取客户反映以外，更多的是进行故障诊断、电路分析，就好比医生给人看病一样。尽管现在的诊断仪器、检测设备很多，但是，如果没有很好的理论基础和扎实的基本功，就不可能顺利地、高标准地排除故障。

本书正是基于以上主导思想而编写的，旨在让汽车维修人员，特别是那些曾经维修传统的柴油机燃油系统的从业人员，从思想上认识到无论是电气控制技术还是电子控制技术，掌握基础知识、基本原理非常重要、非常关键，它是真正掌握电控技术、共轨技术的必经之路，也是迈向成功大门的第一步、攀登技术高峰的奠基石。

《柴油发动机高压共轨电控系统原理与故障检修》（第2版）的主要内容如下。

第一章概括性地介绍了柴油发动机高压共轨控制系统的基本组成、工作原理以及共轨技术；系统地介绍了控制系统相关部分的分类、工作原理；简单介绍了柴油发动机高压共轨电控系统的控制功能、主要优点、技术现状和发展趋势。

第二章是本书的重点，较为详细地介绍了柴油发动机电子控制系统的组成和工作原理，全面介绍了电控系统常见传感器、开关结构与原理以及电控系统执行器的控制方法；选择市场保有量较大的德国博世和日本电装系统，作为典型的高压共轨电子控制系统，对其结构和工作原理进行了详细的介绍，旨在为市场上各种车型的高压共轨电控系统的学习和维修起到举一反三的作用。

第三章主要针对发动机电控系统电路做了较为详细的分析与介绍。包括发动机电控单元电源电路的常见类型、工作原理和检查方法；发动机电控系统中传感器以及开关电路的工作原理和检查方法；发动机电控系统中执行器的控制电路和检查方法。作为学习发动机电控原理和故障维修的基本电路，有一定的指导意义和实用价值。

第四章主要介绍电控系统故障的诊断思路、诊断方法、诊断流程；维修检测工具和仪器、仪表在检修故障时的作用、使用方法以及高压共轨电控系统常见故障案例分析。无论对于电器修理还是电控修理都非常适用。

尽快提高柴油机燃油系统从业人员的维修素质，为柴油机电控技术，特别是高压共轨技术的普及与推广做出贡献是本书编写的宗旨。在本书的编写和出版过程中，得到了许多前辈、同事和朋友多方面的帮助与支持，在此一并表示感谢。特别是太原震欣油泵服务站的刘胜利先生、山西盂县永红油泵油嘴维修站的于永红先生、北京豫丰盛世油泵油嘴维修站的乔玉强先生，对于本书的维修数据和故障案例的搜集起到了很大的帮助作用，在此表示衷心的感谢。

本书在编写过程中，参阅了大量的文献资料，在此向原作者表示衷心的感谢。

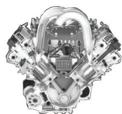
由于作者水平有限，书中难免有错误之处，望业界权威、同行以及广大读者提出宝贵意见。



目录



前言
第一章　电控高压共轨柴油发动机概述 …… 1
第一节　高压共轨柴油系统的组成 …… 1
一、控制系统 …… 2
二、燃料供给系统 …… 11
第二节　高压共轨柴油系统的工作原理 …… 19
一、柴油机基本知识 …… 19
二、高压共轨电控柴油喷射系统 …… 19
三、喷油器工作原理 …… 21
第三节　高压共轨柴油系统的控制功能与优点 …… 26
一、电控高压共轨系统的控制功能 …… 26
二、电控高压共轨柴油喷射系统的优点 …… 28
三、电控高压共轨技术的现状与未来 …… 28
第二章　柴油发动机高压共轨燃油系统的结构和原理 …… 32
第一节　高压共轨电子控制系统的组成与工作原理 …… 32
一、信号传输装置 …… 32
二、电子控制器 …… 54
三、执行器 …… 64
第二节　博世电控高压共轨燃油系统的结构与原理 …… 66
一、概述 …… 66
二、高压共轨燃油系统的构造与作用 …… 70
三、博世共轨电控系统典型电路图 …… 87
第三节　电装电控高压共轨燃油系统的结构与原理 …… 94
一、概述 …… 94
二、高压共轨燃油系统的构造与原理 …… 99
三、电装共轨电控系统典型电路图 …… 108
第三章　高压共轨电控系统电路与检修 …… 116
第一节　ECU 电源电路 …… 116
一、无主继电器的 ECU 电源电路 …… 116
二、有主继电器的 ECU 电源电路 …… 116
三、电控单元（ECU）电源电路的检查 …… 118
第二节　传感器电路 …… 123
一、电装公司传感器电路 …… 123
二、博世公司传感器电路 …… 123
三、传感器电路的检查 …… 125



四、开关电路的检查 …… 134
第三节　执行器电路 …… 138
一、电装公司执行器电路 …… 138
二、博世公司执行器电路 …… 139
三、执行器电路的检查 …… 140
第四章　柴油机高压共轨电控系统故障诊断与维修 …… 149
第一节　发动机电控系统故障检测程序和方法 …… 149
一、故障诊断的基本原则 …… 149
二、电喷发动机故障诊断的基本方法 …… 150
三、电控发动机故障诊断的基本流程 …… 151
四、故障征兆的模拟方法 …… 152
五、基本检查 …… 153
第二节　汽车自诊断系统 …… 154
一、自诊断原理与故障码 …… 154
二、自诊断故障信息显示 …… 154
三、第二代随车诊断系统（OBD-Ⅱ） …… 155
四、备用系统 …… 158
第三节　故障码与数据流分析 …… 158
一、故障码分析和确定 …… 158
二、数据流分析 …… 179
第四节　维修常用工具和仪表 …… 186
一、诊断跨接线 …… 186
二、测试灯 …… 188
三、测试针 …… 189
四、万用表 …… 189
五、诊断仪 …… 194
第五节　故障维修案例 …… 198
一、起动困难故障 …… 198
二、起动后熄火故障 …… 203
三、跛行回家故障 …… 205
四、其他方面故障 …… 211
参考文献 …… 217



第一章

电控高压共轨柴油发动机概述

◎◎◎ 第一节 高压共轨柴油系统的组成 ◎◎◎

电控高压共轨式燃油系统于20世纪90年代中后期正式进入实用化阶段，作为柴油机燃油系统的第三代电控技术，现在已得到广泛的应用。由发动机驱动的高压供油泵将燃油加压后供入共轨内，变成了高压的燃油经喷油器喷射到相应的气缸内，喷油器是由计算机单独控制的。到目前为止，共轨内的燃油压力可以维持在130～160MPa范围内。

为了改善柴油机的排放，可以自由自在地改变喷油参数和喷油形态，可以高自由度地控制燃油喷射，在一次工作循环中可以实现多段喷油（3次、5次或更多次），可以实现标定转速4000r/min——相当于4.2μs的高速控制，将柴油机的燃烧效率、排放性能大大提高一步。

电控高压共轨式燃油系统的基本组成如图1-1所示。从功能方面分析，电控共轨系统可以分成两大部分，即电子控制系统和燃料供给系统。

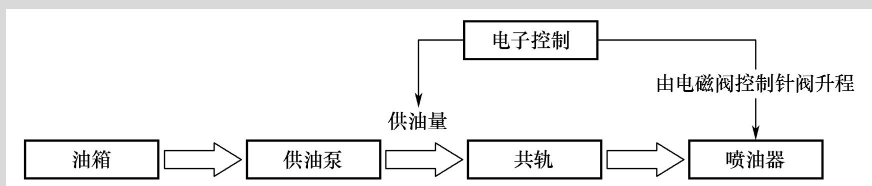


图1-1 燃油供给系统构成框图

有代表性的是日本电装公司和德国博世公司生产的高压共轨燃油系统。

图1-2所示为电装公司适用于轿车柴油机的ECD—U2（P）型电控共轨系统。

图1-3所示为适用于中型和重型货车柴油机的ECD—U2型电控共轨系统。

图1-4所示为博世公司的第一代高压电控共轨式燃油系统。

博世公司电控高压共轨系统的特点如下。

1）共轨压力为135MPa。

2）可以实现预喷射。

3）闭环控制。

4）可用于3～8缸轿车柴油机，可满足欧3排放法规。

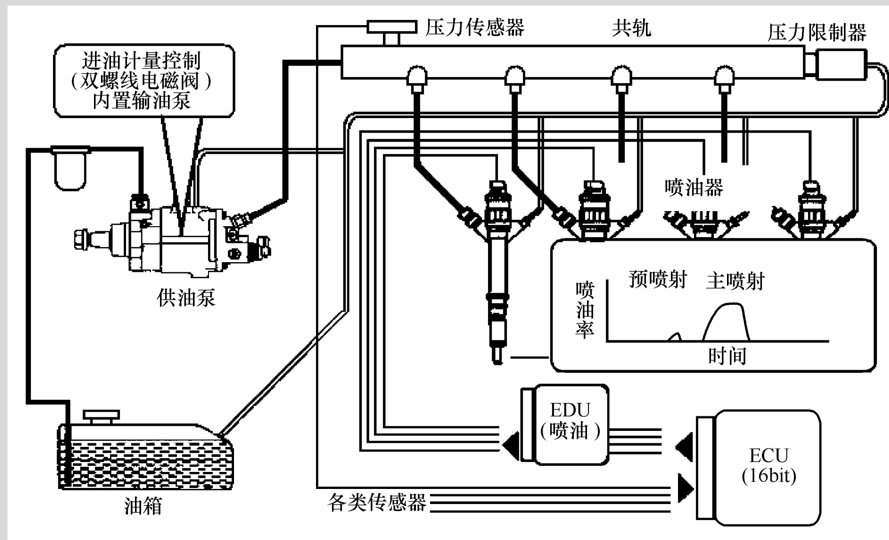


图 1-2　适用于轿车柴油机的 ECD—U2（P）型电控共轨系统

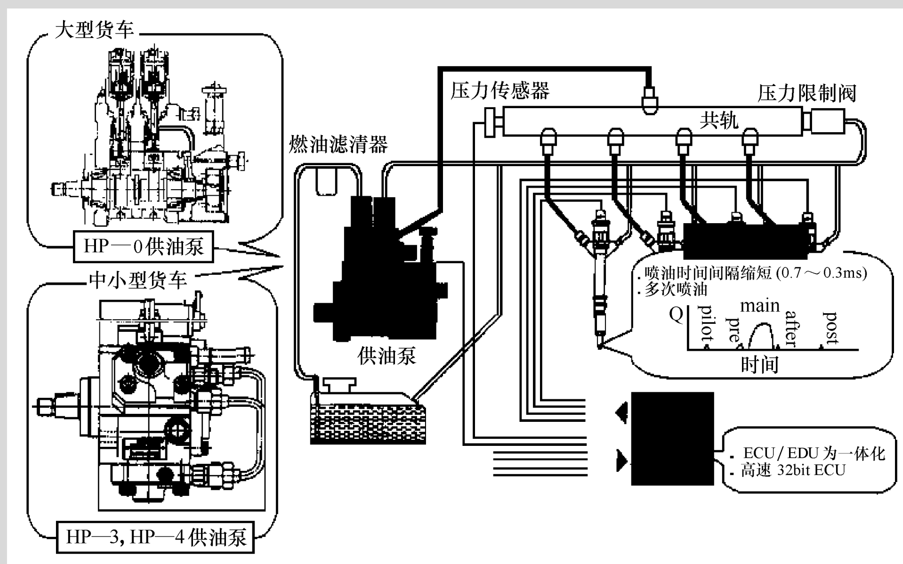


图 1-3　适用于中型、重型货车柴油机的 ECD—U2 型共轨燃油系统

图 1-5 所示是博世公司电控共轨系统在 4 缸柴油机上的安装图。

一、控制系统

高压共轨电子控制系统可以分成三大部分：信号传输装置、电子控制单元（计算机）和执行器。其中，电子控制单元是电控共轨燃油系统的核心部分。



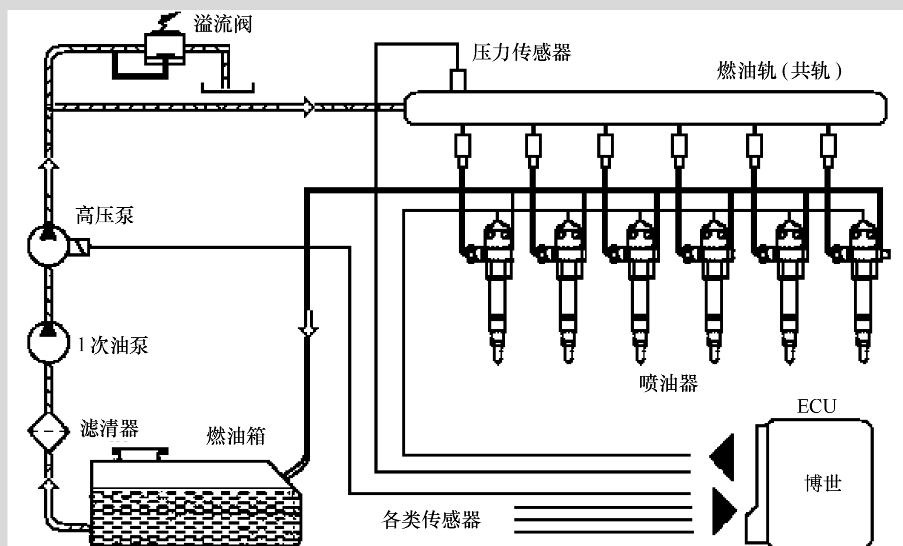


图 1-4　博世公司电控高压共轨式燃油系统



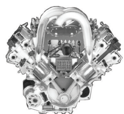
图 1-5　装用博世共轨系统的 4 缸柴油机

1. 信号传输装置


注意

信号传输装置的功用是将发动机及车辆运行时的各种状态信息，由非电量转变为电信号输入电子控制单元，是电子控制器对执行器进行驱动控制的主要分析、判断的依据，它对系统的精确控制起着至关重要的作用。

在电子控制系统中，信号传输装置的种类很多，可按照不同的方法进行分类。



（1）按输出信息性质分类　按输出信息性质分类，传感器可以分为开关型、模拟型和数字型。

1）开关型传感器。工作时呈现两个状态，用数值“1”或“0”分别表示开或关、通或断。如果传感器的输入物理量达到某个值以上时，输出为“1”（开启状态）；在该值以下时，输出为“0”（关闭状态）。其设定的界限值即是开、关两种状态。这种“1”和“0”的数字信息可以直接传递到微机中进行处理，使用方便。

2）模拟型传感器。工作时输出的是与输入物理量变化相对应的连续变化的电量。传感器的输入与输出关系可能是线性的，也可能是非线性的。线性输出信息可直接被采用，而非线性输出信息则需要进行修正，或将其变成线性信息。这些信息要先输入到模数（A/D）转换器，转换成数字信息以后，再输送到微机进行处理。

3）数字型传感器。数字型传感器又可分为计数型和代码型两种。

① 计数型传感器。计数型传感器又称为脉冲型，任何一种脉冲发生器所发出的脉冲数都是与输入量成正比的，对输入量进行计数后，用来检测执行机构的位移量。例如，曲轴或凸轮轴上安装的光栅盘，就可检测曲轴或凸轮轴转动一定角度所发出的脉冲信息。

② 代码型传感器。代码型传感器又称编码器，它是一种直接用数字代码表示角位移和线位移的检测器，每一输入代码相当于一个一定的输入量，如电平可用光电元件或机械接触式元件输出。例如，增量式编码器，它的码盘的外围是计数码道，最内圈是一个基准，内圈中的码道称为方向码道，它的计数码道的线段是同样的，但偏移了半个线段，其相位差为90°转角。在某一旋转方向，最外码道的输出超前于内码道的输出，沿外码道的上升沿产生一个计数脉冲；当反方向旋转时，其输出就迟后于内码道的输出，并沿其下降沿产生计数脉冲，由此可以确定旋转的方向。把外码道的输出脉冲加到计数器，再根据转向而向上或向下减就可以计数。

（2）按传感器的工作原理分类　按传感器的工作原理可以分成5个类型。

1）力学传感器。力学传感器是将力学量的变化转换成电信息的元件。力学量又可分为机械量和流体量两个类型。在机械量中，几何量随着时间变化的叫做运动量；质量、力和转矩等都叫做力学量。在汽车各个电子控制系统常用到的有速度传感器、加速度传感器、压力传感器、空气流量传感器等。

2）电磁传感器。电磁传感器是将磁信息转换成电信息的元件。除了电磁传感器外，还有利用磁阻效应、霍尔效应开发成功的半导体磁性传感器等，经常用做速度传感器和转角传感器。

3）温度传感器。温度传感器是将温度变化转换成电信息的元件。可分成接触式和非接触式两种。一般情况下，接触式温度传感器使用较多，例如：热敏电阻（固体温度变化引起电阻变化的半导体）、双金属片式温度计等。非接触式温度传感器的实例有车辆中乘客数量传感器就是利用热电效应的红外线传感器。

4）光学传感器。光学传感器是将光量转换成电信息的元件。由于光和半导体的相互作用，检测出电子空穴的半导体光学传感器。

5）电化学传感器。电化学传感器是将化学量的变化转换成电信息的传感器。例如，用于检测排气中氧浓度用的、由氧化锆陶瓷制成的氧传感器。

在电子控制系统中，关键是对传感器测量的精度与可靠性要求，否则，由传感器检测带



来的误差，将会导致整个控制系统的失灵或故障。另外，在电子控制系统中所用传感器的数量，理论上不受限制，只要位置许可、功能需要都可设置传感器。如果能把所有传感器的信息都转变为电信息，经过多通道输入，计算机就能进行处理，并得到高精度的控制。

在高压共轨电控系统中，除了上述常用的传感器以外，还有一个特殊传感器——共轨压力传感器。它的作用是以足够的精度，在相应较短的时间内，测定共轨中的实际压力，并向ECU提供信息，用以对喷油压力进行控制，实现精确的喷油控制。

2. 电子控制单元

电子控制单元常用ECU（Electronic Control Unit）表示。不同厂家的名称不尽一致。例如，日本电装公司叫做ECU，博世公司则称EDC，威孚公司也称EDC，还有称ECM的。不管名称如何，其基本功能是始终一致的。

电子控制系统的控制框图如图1-6所示。

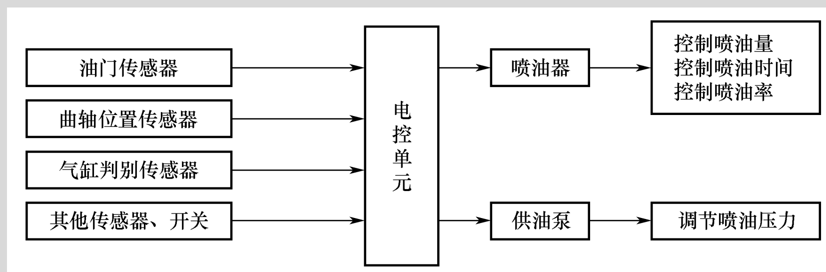


图1-6　电子控制系统的控制框图

1）作用与工作原理。


注意

ECU的作用是接收来自各种传感器的信息，按照预先设计的程序，经过快速的处理、运算、分析和判断后，把各个参数限制在允许的电压电平上，适时地输出控制指令，控制执行器执行各种预定的控制功能，借以控制发动机。

ECU的核心部件是微型计算机，即微机（电脑），所以有时简单地将ECU称为微机或电脑。

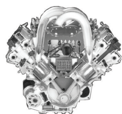
微处理器根据输入数据和存储在MAP中的数据，计算喷油时间、喷油量、喷油率和喷油定时等，并将这些参数转换为与发动机运行匹配的随时间变化的电量。

图1-7所示是柴油机的电控共轨式燃油系统的线路图（电装）。

以发动机的转速、负荷为基础，经过ECU的计算和处理，向喷油器、供油泵等发送动作指令，使每一个气缸内都有最合适的喷油量、喷油率和喷油定时，保证每一个气缸的燃烧过程最佳。

ECU根据发动机转速、油门开度等计算出最佳喷油量，控制喷油器的电磁阀，在指定的时间内开启和关闭喷油器的针阀，从而准确控制喷油量。每循环的喷油量和脉冲宽度近似成正比。

2）ECU的处理能力。为了适应不断改进的控制功能，ECU自身技术含量也在不断发展。ECU中所使用的微型计算机的ROM（只读存储器）和RAM（读写存储器）的内存容量也在不断增加。



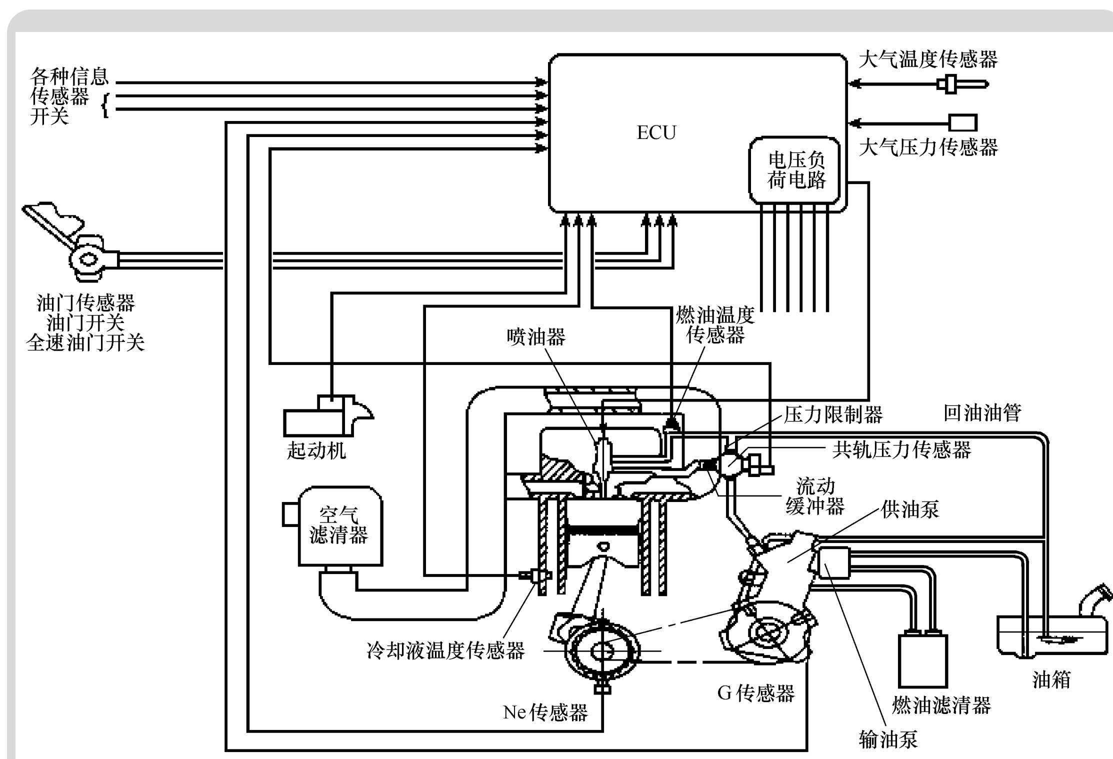


图 1-7　柴油机电控共轨燃油系统线路图（6HK1—TC）

在控制功能、内存容量不断增加的同时，还要求 CPU 的处理速度不断提升。现在大量采用的是 16 位或 32 位 CPU。今后将以 32 位的 CPU 为主，而且，随着工作频率的提高，高速缓存存储器的广泛采用，浮点小数运算单元、数字信号处理器等也势必进一步扩大应用。

随着控制部件数量的增加、各个气缸控制项目和故障诊断功能的追加、发动机综合控制功能的增加以及模拟电路功能数字化等，数据的输入输出量也在不断增加，A/D 转换器的频道数也将会不断增加。按照不同的功能，随着年代的推移，输入输出信息的变化情况见表 1-1。

表 1-1　微机输入输出信息的变迁

年　代		1990	1995	2000	2005
CPU		8 位	16 位	32 位	32 位
内存/B	ROM	12K	56K	512K	2M
	RAM	384	1.5K	32K	128K
输入输出信息量	定时器	6	12	64	80
	A/D	8	10	32	32
	I/O	39	58	149	149
	SCI	1	2	5	4
	CAN	0	0	2	4
	FPU	无	无	有	有
封 装		68 针	84 针	256 针	256 针

注：SCI—串行接口；FPU—浮点数字处理单元。

3）定时功能。喷射定时、多段喷射控制等都要求更高的时间精度。螺线管，电动机的电流控制、相位控制等都要求更高的频率，占空比输出、多个定时同时动作等，在时间方面



的匹配都是非常严格的。为了不给 CPU 增加更多的处理负担，但又要满足上述各种功能，因此要求微机配用的时间定时器更加智能化、功能化。

4）通信功能。为了实现和故障诊断工具通信、变速控制、牵引控制等和其他控制单元之间的协调控制，实现多种设备之间的高速化和通信简易化，车内局域网（CAN）方式在电子控制系统中得到了广泛的应用，局域网控制器（CAN—Controller Area Network）等必将大量使用。今后，包括其他控制单元和定时器的同步控制功能的通信方式也将会被采用。

5）存储器的多样化。微机中 ROM 在 ECU 工序之前必须将程序写进去，因此，控制程序必须提前决定下来，即使是硬件结构完全相同，仅就程序本身来说，软件的数量也会增加。现在，主要是采用闪存（FLASH MEMORY），在 ECU 装配完成之后，ROM 中的程序可以更改重写。这样，从程序定形开始到 ECU 完成的时间可以缩短，硬件可以实现标准化。

故障诊断结果的记忆，传感器、执行机构的各种特性数据的记忆，防盗装置 ID 代码的记忆等，当电源断掉以后也不会消失，而且要求可以一次又一次的改写。为了满足这样的要求，需要使用电子可擦可编程只读存储器（Electric Erasable PROM，EEPROM）。

6）ECU 的小型化。ECU 的功能不断增加，同时，车辆上电子控制设备的体积等也在不断增大，因此，要求 ECU 可以安装在不同的地方，而且必须追求 ECU 的小型化。主要体现在电子零部件的小型化和布线高密度化。现在，一般采用的方法是将电子零部件安装在线路板的上面。提高电子零部件安装密度的基本方法是追求零部件的小型化。图 1-8 所示为小型高密度 ECU 的内部结构。

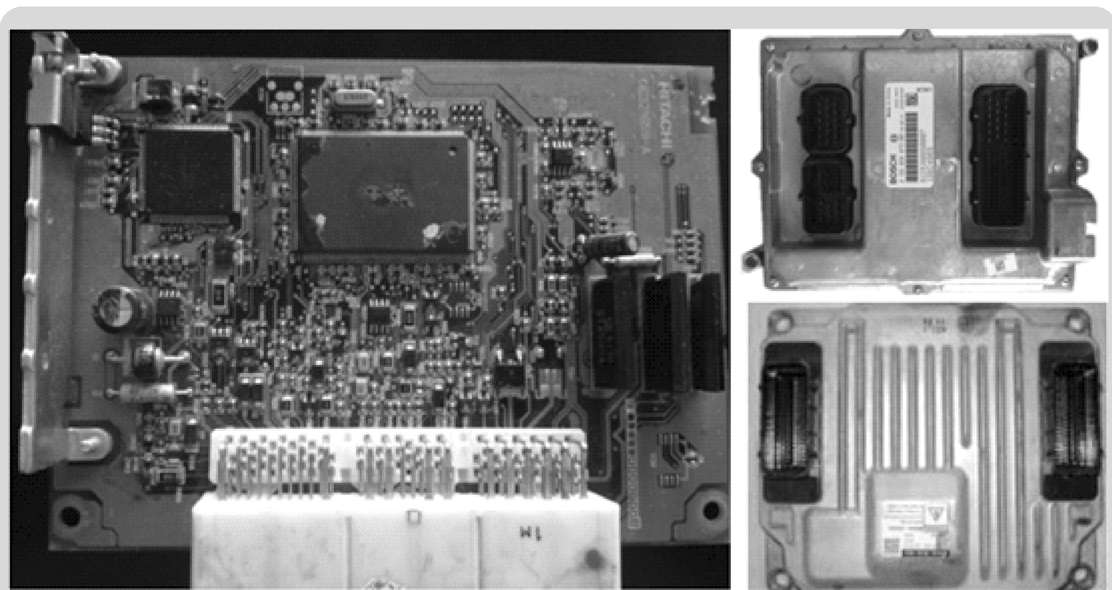


图 1-8 小型高密度 ECU 内部结构（外形）

7）耐环境性。耐环境性主要包括防水性、耐热性和耐振性。

① 防水性。ECU 安装在发动机室时，首先要求的性能是防水性。例如，在 ECU 内部填充硅油等，侵入到 ECU 内部的水分不会影响到 ECU 的性能。最近，由于追求设计轻量化和重复使用性，将 ECU 设计成全封闭型，但不加填充物质。这时，为了缓和 ECU 内外压力

差，设置了通气孔，同时，还要防止水分从通气孔进入 ECU 内部。此外，还要防止水分从接头处进入 ECU 内部。图 1-9 所示是防水型 ECU 的结构。

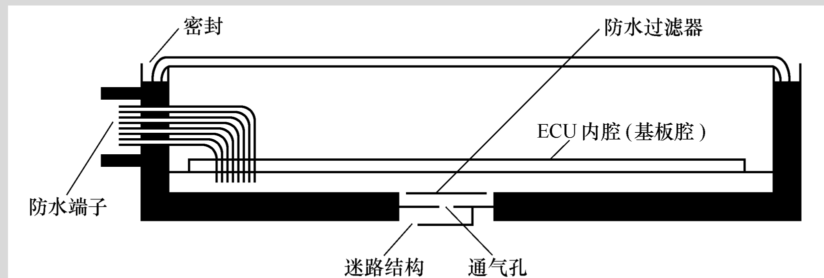


图 1-9　防水型 ECU 的结构

② 耐热性。ECU 布置在发动机室内的另一个问题是耐热性。不仅有发动机主体的热问题，还由于采用了大电流驱动的电磁阀、电动机等执行器的增加，ECU 内部的发热也是一个大问题。提高 ECU 耐热性有以下主要措施。

a. 采用耐高温的元器件。

b. 采用低发热元件。

c. 采取必要的散热结构。

③ 耐振性。当 ECU 安装在底盘上时，传递到 ECU 上的振动加速度为 40 ~ 50m/s^2；安装在发动机或进气系统上的时候，振动加速度可达 100 ~ 300m/s^2。提高 ECU 耐振性的措施是将基板固定到金属平板上，抑制振动；安装重心低的元件；采用能承受微小摩擦的插座。

3. 执行器

发动机电子控制系统的各种控制功能的实现，都是借助于各自的执行器来完成的。因此，根据发动机电子控制系统具备的控制功能强弱不同，各种车型上控制发动机的执行器亦有多有少。在柴油机高压共轨电控系统中的执行器主要有电控喷油器和燃油压力控制阀等。

（1）电控喷油器　**喷油器总成是高压共轨燃油系统中最关键、最复杂的部件，在共轨系统中，以电控喷油器取代了传统的机械喷油器。**在喷油过程中，主要是在电子控制器的控制下进行的，把电信号转变为机械信号，实现机电一体化控制。这个转变过程在电磁阀控制的电控喷油系统中，主要由电磁阀来执行，因此电磁阀在时间控制系统中的作用至关重要。

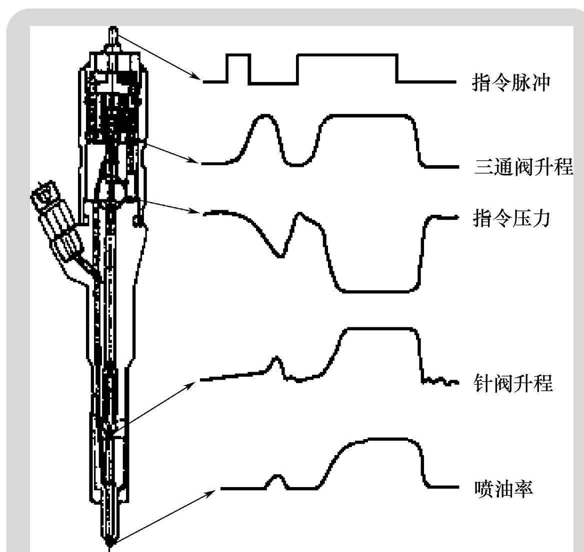


图 1-10　喷油器中的信号谱

喷油器中的指令脉冲、针阀升程、指令压力和喷油率图形随时间变化的过程如图 1-10 所示。喷油始点和喷油延续时间由指令脉冲决定，与转速、负荷无关；因此，可以自由控制喷油时间。



在主脉冲之前，有一个脉宽相当小的预喷射脉冲，可以方便地实现预喷射。根据发动机的实际需要，预喷射形状可以有多种形式。

决定预喷射形状的参数有预喷油量大小及预喷油和主喷油之间的时间间隔。但是，实现该理想的喷油速率图形的具体方法主要是准确而细致地调节脉冲始点、脉冲宽度和脉冲间隔。

喷油器的控制电路如图 1-11 所示。

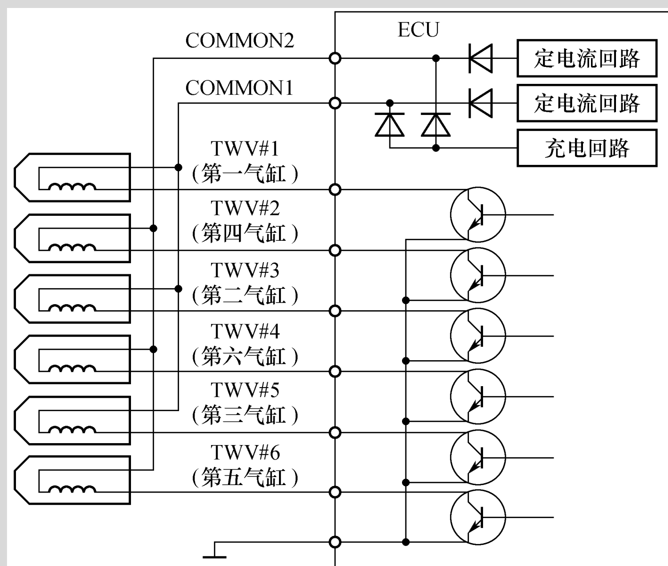


图 1-11　ECD—U2 喷油器的控制电路

根据 ECU 送来的电子控制信号，喷油器将共轨内的高压燃油以最佳的喷油时刻、最适当的喷油量、最合适的喷油率和喷雾状态喷入发动机燃烧室中。

注意

喷油器常见故障如下。

雾化不良——将导致发动机功率下降，排气冒黑烟，机器运转声也不正常。

针阀卡死——将导致发动机功率下降、抖动，严重的甚至无法起动。

针阀与针阀孔导向面磨损——将导致功率降低、起动困难、甚至无法起动。

喷油嘴滴油——会导致当柴油机温度低时，起动困难，排气管冒白烟，柴油机温度上升后则变成冒黑烟且油耗偏高。

回油量过高——会导致喷油压力降低，喷油时间推迟，发动机功率下降，甚至造成柴油机熄火。

近年来，在电控燃油系统的喷油率控制方面取得了新的进展，在一次喷油循环中可以实现 5 段甚至 7 段喷油（理论上可以实现更多段喷油）。但其中只有一次是主喷射，其余均为辅助喷射，目的在于改善燃烧质量，改善排放等。

现代柴油机在经济性、排放、噪声、稳定性、安全性和舒适性等各方面要求都在不断提高，各种高标准的法规已使电磁阀控制难以满足。尤其是电磁阀对必须采用多次喷射才能满

足要求的喷油规律极难适应，为此，德国西门子、博世等公司相继开发了以压电晶体驱动的电控喷油器。与高速开关电磁阀相比，压电晶体控制的喷油器具有更大的优势（表1-2），高压共轨喷油系统采用了压电晶体控制的喷油器后，能获得更快的响应速度，更灵活、更精确地进行控制，能适应更多次喷射，使柴油机获得更好的综合性能，高压共轨系统的优势更能发挥出来。

表1-2　电磁阀喷油器与压电晶体喷油器的比较

	电磁阀喷油器	压电晶体喷油器
开关时间	−	+
迟滞时间	−	+
重复性	−	+
能耗	0	+
针阀升程可变的灵活性	−	+

注：+表示好；−表示差；0表示一般。

采用压电晶体喷油器的高压共轨电控喷油系统，除喷油器外，其他部件与采用高速电磁阀控制的喷油系统相同。

1）压电效应的性质。压电效应有下述两种不同性质的过程。

① 正压电效应。压电材料（如石英晶体等）在外力的作用下变形时，压电晶体上会产生与应变量成正比的电荷，进而在电极之间产生电压。电荷的多少和极性与所加的机械力的大小和性质（拉力或压力）有关。当外力去除后，压电晶体又重新回到不带电的状态。这种现象称为正压电效应。

② 逆压电效应。如对压电晶体施加一个电压，在外电场作用于压电晶格上时，电流流过会使晶格伸长，当断电后压电晶体又恢复到起始状态。这种现象称为逆压电效应。

上述正压电效应是机械能转变为电能的过程；逆压电效应则是电能变为机械能的过程。两种压电现象统称为压电效应。

在压电式传感器中，大多是利用压电材料的正压电效应，而压电执行器则主要是利用压电材料的逆压电效应。

压电材料有压电单晶材料、压电多晶材料（压电陶瓷）、有机压电材料等。高速开关阀中用的材料，一般是压电材料中石英晶体和各类压电陶瓷。

石英晶体是单晶体中应用最为广泛的一种压电晶体，它没有热释电效应，其主要优点是性能稳定，介电常数和压电常数的温度稳定性特别好。

压电陶瓷是一种多晶铁电体。锆钛酸铅系列压电陶瓷，目前应用较广。它由较高的压电常数和居里点（300℃），工作温度可达250℃。各项机电参数稳定，随温度和时间等外界因数变化很小。

2）压电晶体的特点。压电晶体的主要特点如下。

① 响应速度快。作为快速开关时间为10～30μs，用作压电执行器比电磁执行器要快很多倍。这是由于压电执行器的磁场建立时间几乎可忽略不计。

② 位移控制精度高，可达0.01μm，重复性好。

③ 有较大的单位输出力，可达3.9kN/cm。

④ 能耗低。由于压电晶体是一种电容元件，无电感阻力，只有在充电、放电时消耗少量能量，在维持通电过程中不消耗能量。



（2）燃油压力控制阀　**燃油压力控制阀也称燃油计量单元或燃油计量阀，用以分割高压及低压端，一般安装在供油泵上，它的作用是用于调整共轨内的燃油压力。**方法是调整供油泵供入共轨内的燃油量。所以，向控制阀通电和断电的时刻就决定了供油泵向共轨内供入的供油量。

调压阀的作用是根据发动机的负荷状况调整和保持共轨中的压力。当共轨压力过高时，调压阀打开，一部分燃油经集油管流回到油箱；当共轨压力过低时，调压阀关闭，高压端对低压端密封。

燃油压力控制阀的控制电路如图 1-12 所示。

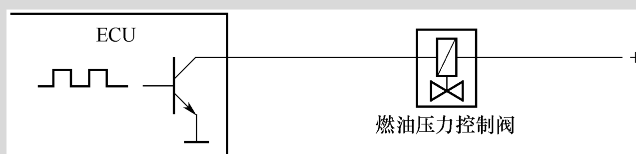


图 1-12　燃油压力控制阀控制电路

注意

燃油计量阀常见故障有线路故障和电磁阀故障。

计量阀驱动线路开路或短路，阀芯卡滞、阀针磨损，根据计量阀常开型或常闭型的不同，可导致共轨管压力超高、泄压阀被强行冲开，或共轨压力过低，造成起动困难或无法起动，发动机功率不足，转速受限等故障现象；计量阀失效，可以明显感觉回油管温度很高。

二、燃料供给系统

燃料供给系统可分为低压系统和高压系统两大部分，如图 1-13 所示。

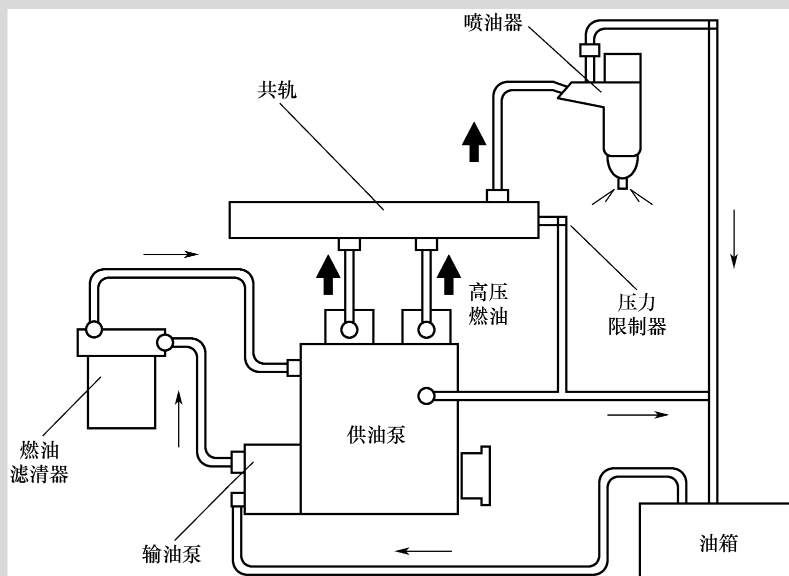
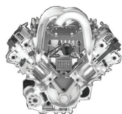


图 1-13　电控高压共轨燃油供给系统部分



1. 低压系统

低压系统的主要作用是向高压泵输送足够的清洁燃油，由油箱、粗滤器、输油泵、精滤器（含油水分离器）及低压管路等组成。

输油泵的主要作用是使燃油产生一定的压力，以克服滤清器及低压管路的油流阻力，把油箱内的燃油不断地输入高压泵，在柴油机的任何工况下，都能提供充足的燃油。目前有两种典型结构：一种是电控输油泵；另一种是机械驱动的齿轮式输油泵。

2. 高压系统

高压系统除使燃油产生高压外，还对燃油进行检测、控制和分配，其中最重要的部件是高压泵、高压共轨（包括压力传感器、压力控制阀、流量限制阀）和喷油器等。

（1）供油泵　供油泵是低压和高压部分之间的接口，**它的作用是在车辆所有工作范围和整个使用寿命期间准备足够的、已被压缩了的燃油。除了供给高压燃油之外，它的作用还在于保证在快速起动过程和共轨中压力迅速上升所需要的燃油储备、持续产生高压燃油存储器（共轨）所需的系统压力。**

1）电装公司供油泵。电装公司共轨系统第一代产品是直列泵型的 HP0 型供油泵系列，有 HP0—UHD、HP0—HD 和 HP0—MD。供油压力为 120MPa，到 2000 年以后，供油压力提高到 145MPa。

第二代产品的特征是：HP0 系列供油泵的供油压力提高到 180MPa，推出了 ECD—U2（P）用的转子式供油泵—HP3 和 HP4。在转子式供油泵中全部采用进油计量，供油压力均为 180MPa。

图 1-14 为直列泵和转子泵的外形结构。

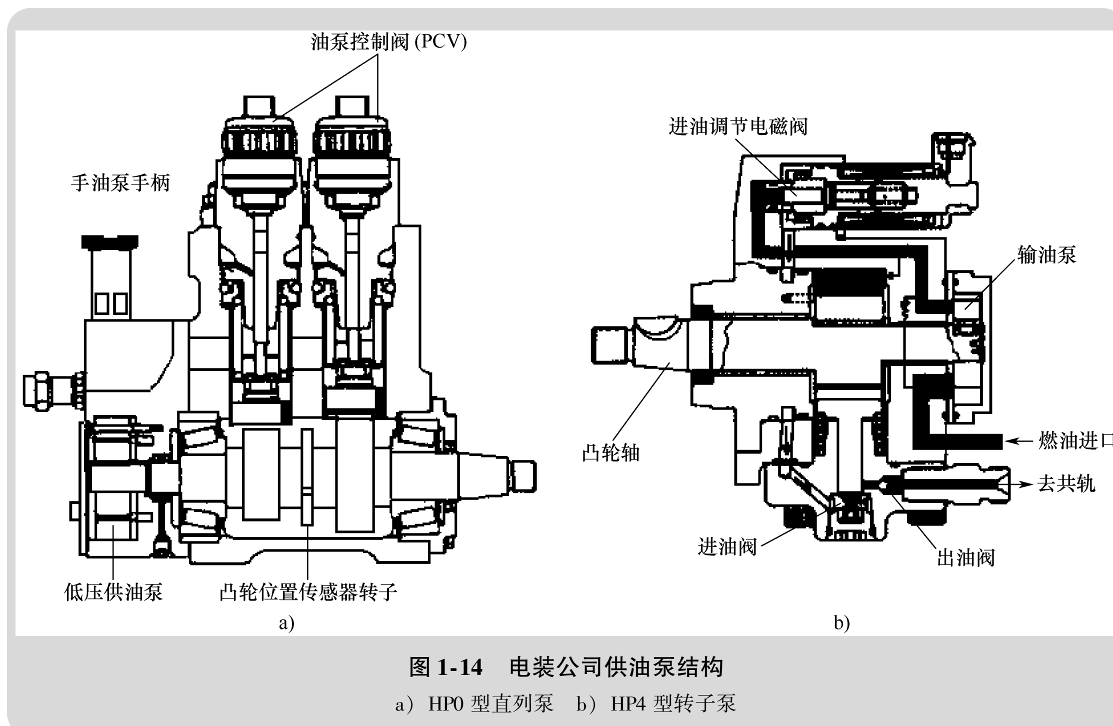


图 1-14　电装公司供油泵结构

a）HP0 型直列泵　b）HP4 型转子泵

表 1-3 是电装公司供油泵的基本参数。



表 1-3　电装公司共轨系统供油泵的基本参数

参　　数		HD	UHD	MD
最大供油量/(mm^3/行程)		420	635(16mm 升程) 525(14mm 升程)	350
耐压能力/MPa		210 (P_c = 180)	210 (P_c = 180)	160
最高转速/(r/min)		1995	1800	1600
柱塞直径/mm		8.5	8.5	8.5
凸轮	升程/mm	12	16(14)	9.0
	基圆直径/mm	38	40(44)	
	轴颈直径/mm	8.5	8.5	
挺柱体	形式	双滚轮	双滚轮	
	滚轮外形/mm	ϕ24	ϕ26	
	滚轮宽度/mm	20	22	
PCV		螺旋线圈	螺旋线圈	
输油泵		次摆线型	次摆线型	

不同的发动机可以选用不同的供油泵。一般情况下，大型柴油机选用类似于直列泵的供油泵，小型柴油机可以选用类似于分配泵的转子式供油泵。

供油泵产生的高压燃油经共轨分配到各个气缸的喷油器中；燃油压力由设置在共轨内的压力传感器检出，反馈到控制系统，并使实际压力值和事先设定的、与发动机转速和负荷相适应的压力值始终一致。

表 1-4 是电装公司供油泵的产品系列概况。

表 1-4　电装公司供油泵产品

参　　数	HP0	HP—2	HP—3	HP—4	HP0—HD	HP0—UHD	HP0—MD
柱塞直径/mm	8.5		8.5	8.5	8.5	8.5	8.5
柱塞行程/mm	9		9.0	9.0	12	16(14)	9.0
供油量/(mm^3/行程)	350				420	635	350
承压能力/MPa	160	135			210	210	

2）博世公司供油泵。博世公司的供油泵像普通分配泵那样装在柴油机上，通过离合器、齿轮、链条或齿带由发动机驱动，最高转速为 3000r/min，采用燃油润滑。

博世公司高压共轨系统使用的是 VP 系列电控分配式高压油泵，目前在直喷式电控柴油机上应用较多的是 VP37 和 VP44 型分配泵。其中 VP37 型电控分配泵多应用在柴油轿车上，VP44 型电控分配泵多用在大、中型柴油发动机上。

图 1-15 所示为供油泵结构。

视安装空间不同，调压阀或直接装在供油泵旁或单独布置。燃油被供油泵内三个径向柱塞压缩，柱塞相互之间错开 120°。由于每一转有三个供油行程，故驱动峰值转矩小，供油泵驱动装置受载均匀，转矩为 16N · m，仅为分配泵驱动转矩的 1/9 左右。

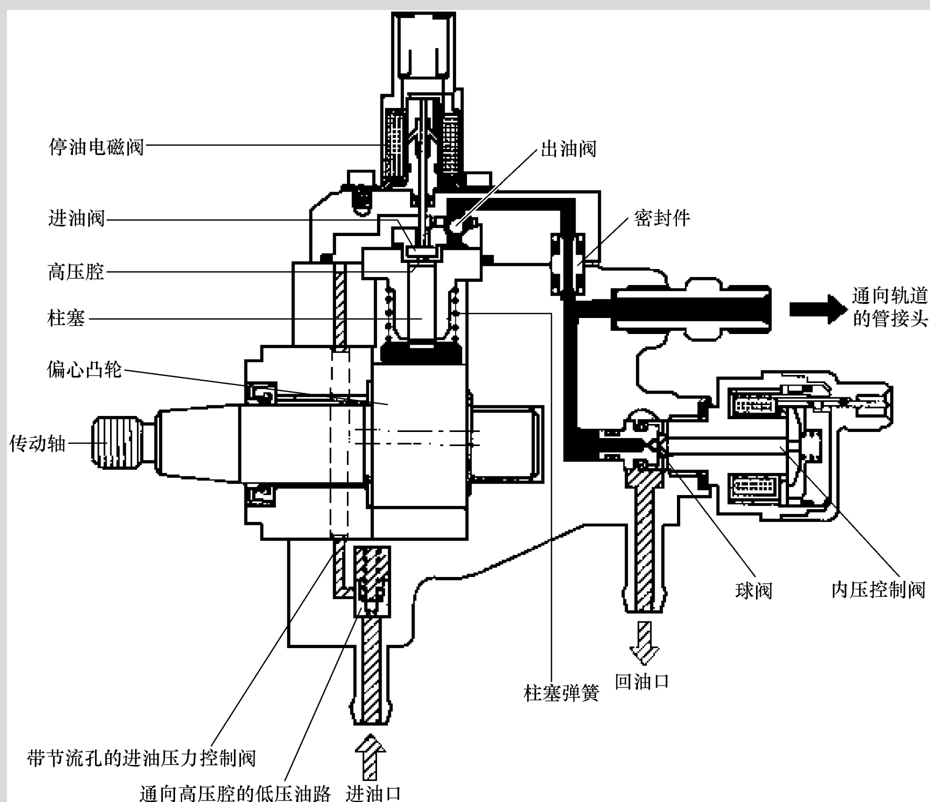


图 1-15　供油泵结构

3）威孚公司供油泵。我国威孚公司研制开发的电控共轨系统的供油泵是一种柱塞式直列泵。目前只有 2 缸。采用机油强制润滑，三作用型凸轮轴。图 1-16 所示为 CB10 型供油泵结构。

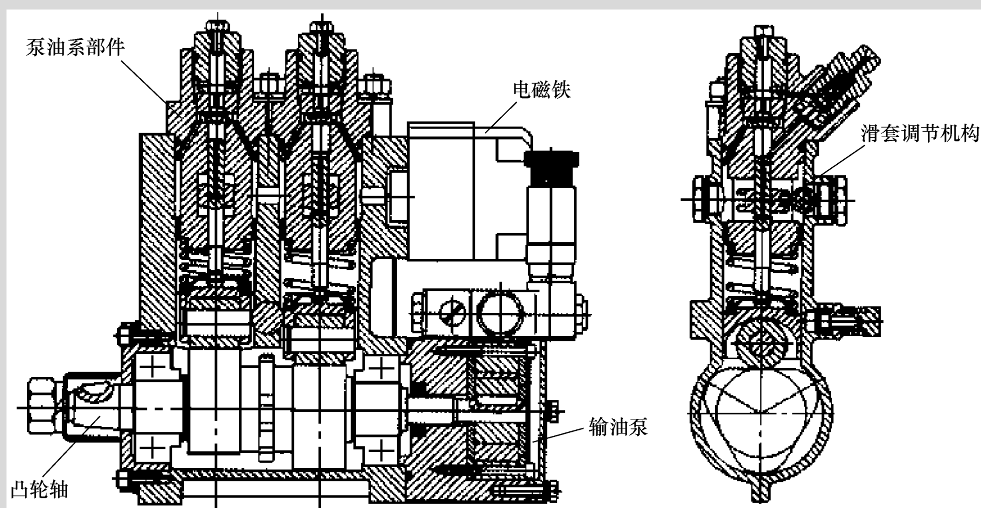


图 1-16　威孚公司的 CB10 型供油泵



威孚公司 CB10 型供油泵的特点是用滑套调节供油量。因此，对电磁阀要求较低，不必像一般供油泵的电磁阀那样每一次都有供油动作。CB10 型供油泵的技术参数见表 1-5。

表 1-5　威孚公司 CB10 型供油泵参数

柱塞直径/mm	凸轮升程/mm	最高压力/MPa	最大几何供油量/mm^3（容积效率 80%）	油量调节方式	输油泵
9	9	180	458	电磁铁-滑套	摆线式
10			565		

4）美国德尔福公司供油泵。美国德尔福公司生产的在 LDCR 型共轨系统中采用的供油泵如图 1-17 和图 1-18 所示。

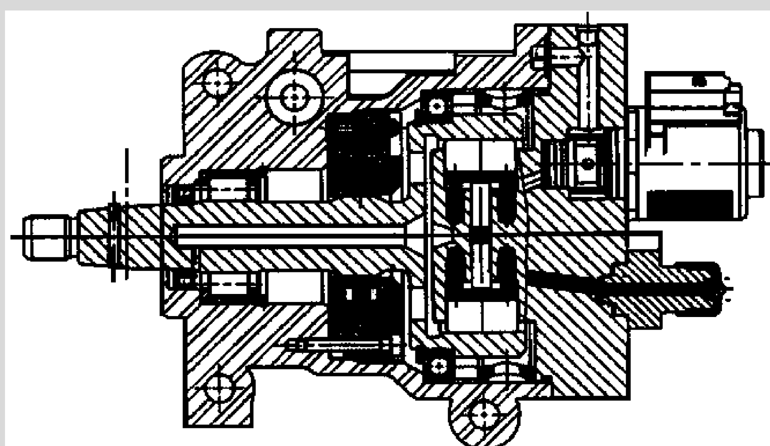


图 1-17　LDCR 共轨系统的供油泵剖面图

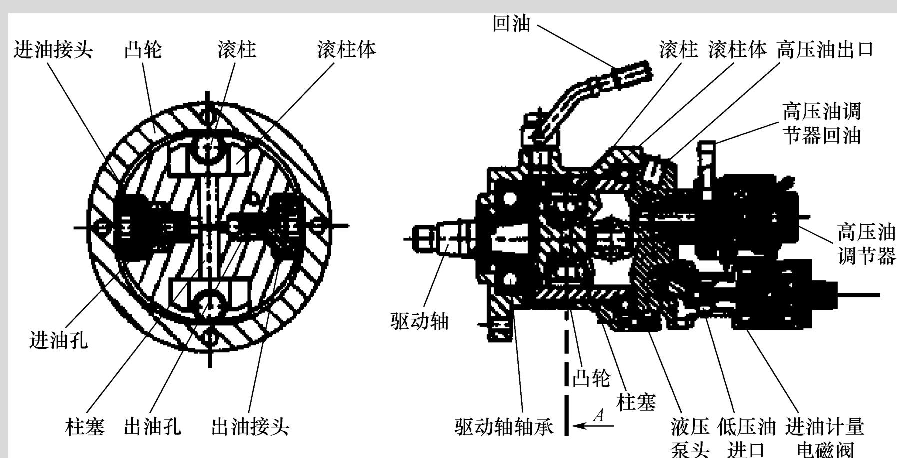


图 1-18　LDCR 共轨系统的供油泵结构

供油泵的供油能力在 160MPa 压力下供油量为每转 0.7cm^3。

供油泵的工作原理是，采用一个内凸轮环和对置柱塞。但该泵的凸轮环由供油泵轴带动

旋转，两个对置柱塞位于静止不转的泵头横向孔中。这种结构使分配转子与滑套之间没有必要保证很小的间隙。凸轮环有 4 个内凸起，一对柱塞在单一的泵油腔中工作，凸轮转一转，泵油 4 次。

供油泵装有进油计量阀，用于初步控制共轨压力。所需要的燃油量由 ECU 计算，并且仅仅允许必要的燃油进入供油泵，所以没有燃油从共轨中溢出。

供油泵可以有一个泵油腔，也可以有 2 个泵油腔，2 个泵油腔以 45°角布置，这样，凸轮环每转一转可泵油 8 次。

5）西门子公司供油泵。西门子公司第二代共轨系统中的供油泵是径向柱塞泵，有 3 个柱塞，如图 1-19 所示。该泵是西门子公司与 Rexroth AG 公司联合开发设计的。该泵采用模块化结构，可以实现多种组合。例如：带有供油压力调节装置的内装式输油泵；流量控制阀；压力控制阀。因此，通过组合可以很快地给用户提供各种结构的特种供油泵。

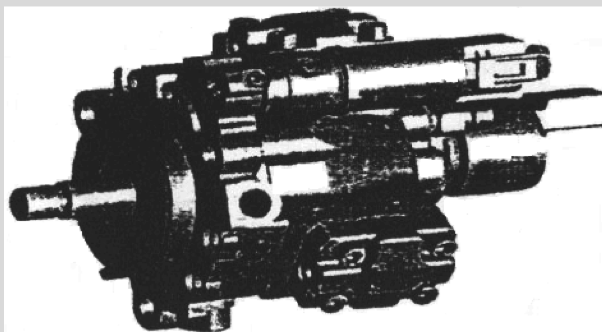


图 1-19　西门子共轨系统的供油泵

西门子公司建议：供油泵应配备所有可能的部件以得到最高的效率。共轨内的压力采用变量控制阀控制。压力控制阀使油压快速下降，并且具有安全阀的功能。在全负荷供油时，在整个速度和压力范围内供油泵的总效率为 70% ~80%。

在部分负荷供油时，此方案的优点显而易见，总效率大于 50%，许多场合下甚至大于 60%。这样，相对于压力控制泵来说，变量控制泵的功率损耗要减少 600W。

各种电控共轨系统中采用不同的供油泵，不仅结构不同，而且特性也大不相同。图1-20 中列出了电装公司、博世公司以及 Rexroth 公司的下一代电控共轨系统中的转子式供油泵的结构。

这几种转子式供油泵的结构是相似的，但其对应的特性参数却很不一致，具体参数见表 1-6。

表 1-6　下一代电控共轨系统中的供油泵参数

公司	形式	柱塞直径 /mm	柱塞数量	凸轮升程 /mm	几何供油量 /(mm^3/r)	实际供油量 /(mm^3/r)	转速 /(r/min)
电装	HP3	ϕ8.5	2	8.8	1000	827	4000
	HP4	ϕ8.5	3	8.8	1500	1241	4000
博世	CP3.1	ϕ5.5	3	6.0	427		
	CP3.2	ϕ6.5	3	6.8	677	460	3750
	CP3.3	ϕ7.5	3	8.2	1087	850	3750
	CP3.4	ϕ7.5	3	9.5	1259		
	CP3.5	ϕ7.5	3	12	1590		
Rexroth	3CYL	ϕ7.0	3	7.0	800	640	3000
	5CYL	ϕ7.0	5	7.0	1350	1050	3000



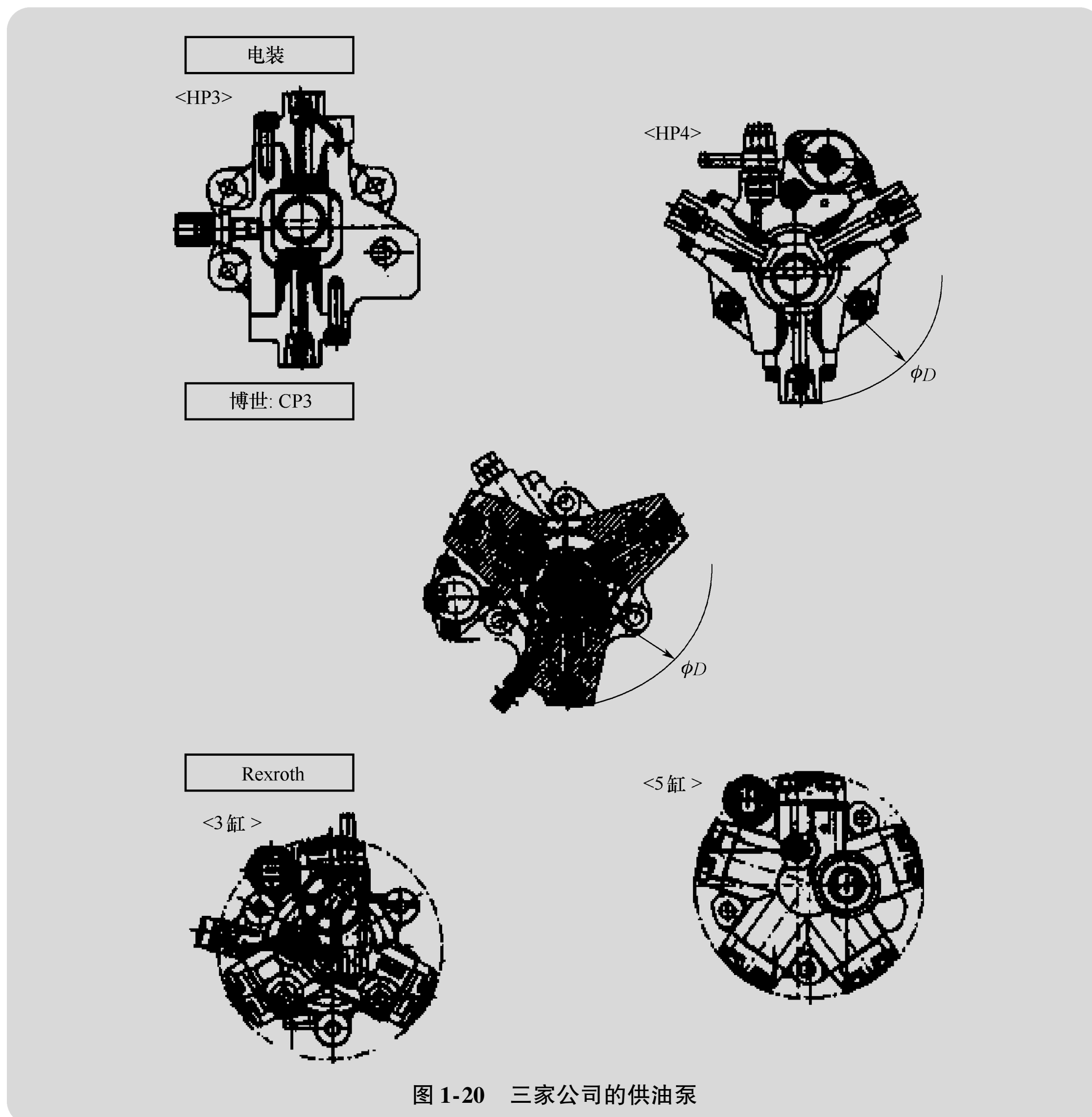


图 1-20　三家公司的供油泵

（2）高压共轨（蓄压器）

1）高压共轨。高压共轨（简称轨道）又名高压蓄压器，是高压共轨系统中最具有特色的部件，整个喷油系统也以此部件名称来命名，足见其重要性。

高压共轨实质上是一个蓄压器，**其功能是用来储藏高压燃油，保持油压稳定并将高压燃油分配（通过短油管）给各缸的电控喷油器。**由于各缸共用一个油轨，因此称其为“共轨”。工作时，共轨内的燃油虽然不断从喷油器喷出，但高压燃油却源源不断从高压泵向轨道内补充，使蓄压器内的燃油压力基本保持不变，因而保证了喷油压力的恒定。图 1-21 所示为高压共轨的安装位置。

高压共轨轨道一般都成管状，如图 1-22 所示。根据不同发动机的结构条件，外形也有一定的差异，虽然形状各异，但都要求有合适的位置安装轨道压力传感器、压力限制阀和流量限制阀等控制部件，随时检测轨道内的燃油压力，并控制轨道压力，限制喷油量。

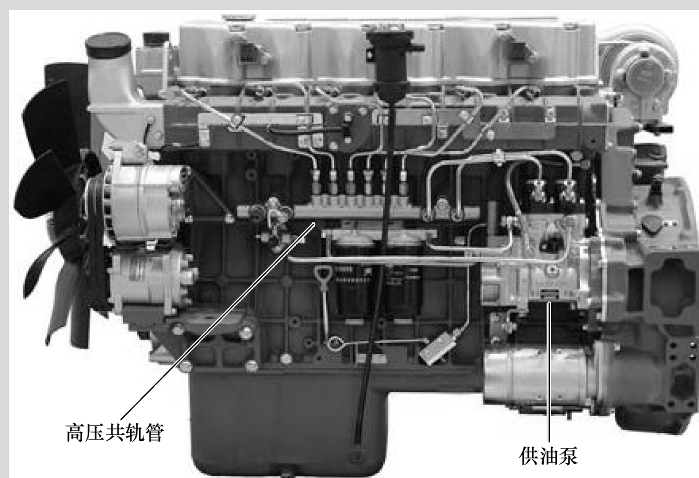


图 1-21 共轨管的安装位置

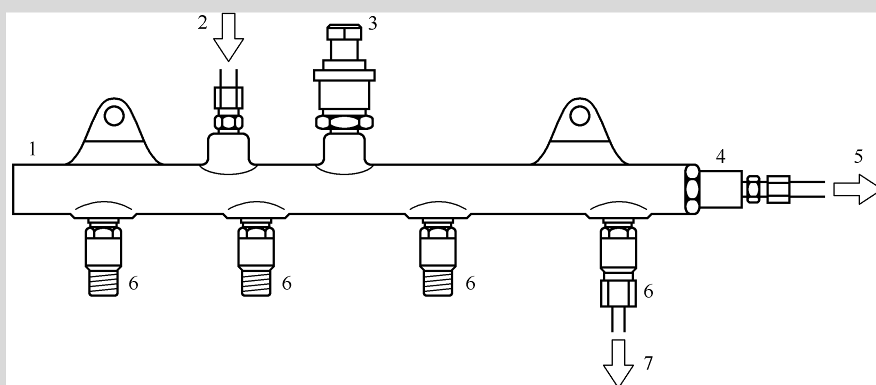


图 1-22 高压共轨部件

1—轨道（蓄压器） 2—轨道进油口（来自高压泵的高压油） 3—轨道压力传感器 4—压力限制阀 5—回油口（从轨道流回油箱） 6—流量限制阀 7—通向喷油器

高压共轨看似形状简单，其中燃油油轨为一个管状厚壁容器，其容积对共轨系统的性能有一定影响：为了减小喷油对轨道压力产生的波动，通常要求轨道内储油容积足够大，使每一循环的燃油占总容积的比例很小，这样可减小喷油后对压力波动的影响；为使柴油机起动时，轨道内能迅速建立高压，使柴油机尽快进入正常工作状态，又希望轨道容积尽可能小。

以上分析表明，轨道容积过大、过小都有弊病。为选择合适的轨道容积，通常根据不同的发动机，通过对整个高压系统的模拟计算（考虑燃油的可压缩性）和匹配试验来确定其尺寸和腔内容积，以保证在喷油器喷油和高压泵脉动供油时轨道内的燃油压力波动尽可能小，同时也要保证起动时，轨道内的油压能迅速建立，由此得出最佳折中方案。

2）高压共轨上的相关部件。

① 轨道压力传感器。为使柴油机能获得良好的性能，除对喷油定时、定量要求外，合适的喷油压力也是一个非常重要的参数。轨道压力传感器负责将燃油压力这个重要的信息反馈给电控单元（ECU），以便 ECU 能对油压以及整个喷油过程进行有效的控制。



② 流量限制阀。流量限制阀的作用是控制最大燃油流量，防止超供燃油，在非正常情况下，阻止喷油器持续喷油。为达到这一目的，如果某一缸从轨道输出的油量超出规定值时，流量限制阀就关闭通往该缸喷油器的油路。

③ 压力限制阀。流量限制阀的作用是防止流量过多，而压力限制阀则是限制压力过高，两者虽然目的不同，但采取的措施基本一致，都是通过排出一定的流量来达到目的的，这是由于流量和压力有着密切的关系，在相同的容积内油量多、压力高，油量少、压力低，因此，在进油通道内排出部分油量，既能控制流量又能限制压力。

为限制轨道内燃油压力过高，装有压力限制阀，对轨道内的燃油压力加以限制，把轨道瞬时最大压力限制在允许值内。如最高轨道压力限值为160MPa，在运行中，应把轨道内的燃油压力限制在该值范围内。

◎◎◎　第二节　高压共轨柴油系统的工作原理　◎◎◎

一、柴油机基本知识

柴油发动机与汽油发动机具有基本相同的结构，都有气缸体、气缸盖、活塞、气门、曲柄、曲轴、凸轮轴和飞轮等。但前者用压燃柴油做功，后者用点燃汽油做功，一个“压燃”一个“点燃”，就是两者的根本区别点。汽油机的燃料是在进气行程中与空气混合后进入气缸，然后被火花塞点燃做功；柴油机的燃料则是在压缩行程接近终了时直接喷入气缸，在压缩空气中被压燃做功。这个区别决定了柴油机在燃料供给系统的结构有其自己的特点。

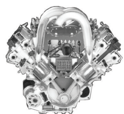
柴油机的燃料喷射系统由喷油泵、喷油器、高压油管及一些附属辅助件组成。柴油机燃料输送的简单过程是，输油泵将柴油送到滤清器，过滤后进入喷油泵（为了保证充足的燃料并保持一定的压力，要求输油泵的供油量比喷油泵的需要量要大得多，多余的柴油就经低压管回到油箱，其他部分柴油被喷油泵压缩至高压）经过高压油管进入喷油器，直接喷入气缸燃烧室中压燃。

二、高压共轨电控柴油喷射系统

现代汽车柴油机一般采用电控喷射、共轨、涡轮增压中冷等技术，在质量、噪声、烟度等方面已取得重大突破，达到了汽油机的水平，而且相比汽油机更环保。目前，国外轻型汽车用柴油机日益普遍，奔驰、大众、宝马、雷诺和沃尔沃等欧洲名牌车都有采用柴油发动机的车型，我国在奥迪、捷达等轿车上也有使用。

在电控喷射方面，柴油机与汽油机的主要差别是，汽油机的电控喷射系统只是控制空燃比，柴油机的电控喷射系统则是通过控制喷油时间来调节输出的大小，即由发动机的转速和加速踏板位置（油门拉杆位置）来决定。因此，**基本工作原理是计算机根据转速传感器和油门位置传感器的输入信号，首先计算出基本喷油量，然后根据冷却液温度、进气温度、进气压力等传感器的信号进行修正，再与来自控制套位置传感器的信号进行反馈修正，确定最佳喷油量的。**

电控柴油喷射系统由信号传输装置、电控单元（ECU）和执行机构三部分组成。其任务是对喷油系统进行电子控制，实现对喷油量以及喷油定时随运行工况的实时控制。采用转



速、温度、压力等传感器，将实时检测的参数同步输入计算机，与已储存的参数值进行比较，经过处理、计算，按照最佳值对喷油泵、废气再循环阀、预热塞等执行机构进行控制，驱动喷油系统，使柴油机运转状态达到最佳。

1. 共轨技术

在汽车柴油机中，高速运转使柴油喷射过程的时间只有千分之几秒。实验证明，在喷射过程中高压油管各处的压力是随时间和位置的不同而变化的。由于柴油的可压缩性和高压油管中柴油的压力波动，使实际的喷油状态与喷油泵所规定的柱塞供油规律有较大的差异。油管内的压力波动有时还会在主喷射之后，使高压油管内的压力再次上升，达到令喷油器的针阀开启的压力，将已经关闭的针阀又重新打开产生二次喷油现象。由于二次喷油不可能完全燃烧，于是增加了烟度和碳氢化合物（HC）的排放量，油耗增加。此外，每次喷射循环后高压油管内的残压都会发生变化，随之引起不稳定的喷射，尤其在低转速区域容易产生上述现象，严重时不仅喷油不均匀，而且会发生间歇性不喷射现象。为了解决柴油机这个燃油压力变化的缺陷，在现代柴油机上采用了一种称“共轨”的技术。

注意

共轨技术是指在高压油泵、压力传感器和 ECU 组成的闭环系统中，将喷射压力的产生和喷射过程彼此完全分开的一种供油方式，由高压油泵把高压燃油输送到公共供油管（共轨管），通过对公共供油管内的油压实现精确控制，使高压油管压力大小与发动机的转速无关，可以大幅度减小柴油机供油压力随发动机转速的变化，因此也就减少了传统柴油机的缺陷。

ECU 控制喷油器的喷油量，喷油量的大小取决于公共供油管压力和电磁阀开启时间的长短。高压共轨系统可实现在传统喷油系统中无法实现的功能，其优点如下。

注意

1）共轨系统中的喷油压力柔性可调，对不同工况可确定所需的最佳喷射压力，从而优化柴油机综合性能。

2）可独立地柔性控制喷油正时，配合高的喷射压力（120～200MPa），可同时控制 NO_x 和微粒（PM）在较小的数值内，以满足排放要求。

3）柔性控制喷油速率变化，实现理想喷油规律，容易实现预喷射和多次喷射，既可降低柴油机 NO_x，又能保证优良的动力性和经济性。

4）由电磁阀控制喷油，其控制精度较高，高压油路中不会出现气泡和残压为零的现象，因此在柴油机运转范围内，循环喷油量变动小，各缸供油不均匀可得到改善，从而减轻柴油机的振动和降低排放。

2. 高压共轨电控燃油喷射系统及基本单元

高压共轨电控燃油喷射系统主要由电控单元、高压油泵、蓄压器（共轨管）、电控喷油器以及各种传感器等组成。

低压燃油泵将燃油输入高压油泵，高压油泵将燃油加压送入高压油轨（蓄压器），高压油轨中的压力由电控单元根据油轨压力传感器测量的油轨压力以及需要进行调节，高压油轨内的燃油经过高压油管，根据发动机的运行状态，由电控单元从预设的 MAP 图中确定合适



的喷油定时、喷油持续期，由电液控制的电子喷油器将燃油喷入气缸。

（1）高压油泵　**高压油泵供油量的设计准则是必须保证在任何情况下的柴油机的喷油量与控制油量之和的需求以及起动和加速时的油量变化的需求。**由于共轨系统中喷油压力的产生与燃油喷射过程无关，且喷油正时也不由高压油泵的凸轮来保证，因此高压油泵的压油凸轮可以按照峰值转矩最低、接触应力最小和最耐磨的设计原则来设计。

博世公司采用由柴油机驱动的三缸径向柱塞泵来产生高达135MPa的压力。该高压油泵在每个压油单元中采用了多个压油凸轮，使其峰值转矩降低为传统高压油泵的1/9，负荷也比较均匀，降低了运行噪声。该系统中高压共轨腔中的压力的控制是通过对共轨腔中燃油的放泄来实现的，为了减小功率损耗，在喷油量较小的情况下，将关闭三缸径向柱塞泵中的一个压油单元使供油量减少。

日本电装公司的ECD—U2高压油泵采用了一个三作用凸轮的直列泵来产生高压。该高压油泵对油量的控制采用了控制低压燃油有效进油量的方法，该方法使高压油泵不产生额外的功率消耗，但需要确定控制脉冲的宽度和控制脉冲与高压油泵凸轮的相位关系，控制系统比较复杂。

（2）高压油轨（共轨管）　**共轨管将供油泵提供的高压燃油分配到各喷油器中，起到蓄压器的作用。**它的容积应削减高压油泵的供油压力波动和每个喷油器由喷油过程引起的压力振荡，使高压油轨中的压力波动控制在5MPa之下。但其容积又不能太大，保证共轨有足够的压力响应速度以快速跟踪柴油机工况的变化。ECD—U2系统的高压泵的最大循环供油量为600mL，共轨管容积为94000mL。

高压共轨管上还安装了压力传感器、流量限制器和压力限制器。压力传感器向ECU提供高压油轨的压力信号；流量限制器保证在喷油器出现燃油漏泄故障时切断向喷油器的供油，并可减小共轨和高压油管中的压力波动；压力限制器保证高压油轨在出现压力异常时，迅速将高压油轨中的压力进行放泄。

（3）电控喷油器　电控喷油器是共轨式燃油系统中最关键和最复杂的部件，它的作用是根据ECU发出的控制信号，通过控制电磁阀的开启和关闭，将高压油轨中的燃油以最佳的喷油定时、喷油量和喷油率喷入柴油机的燃烧室。

由于高压共轨式燃油喷射系统具有可以对喷油定时、喷油持续期、喷油压力和喷油规律进行柔性调节的特点，该系统的采用可以使柴油机的经济性、动力性和排放性能有进一步的提高，随着共轨技术的进一步发展和完善，柴油机的应用水平必将跨上一个新的台阶。

三、喷油器工作原理

1. 概述

在电控喷油系统中，喷油过程主要是在控制器的控制下进行的，把电信号转变为机械信号，实现机电一体化控制。这个转变过程在电磁阀控制的电控喷油器系统中，主要由电磁阀来执行。因此，电磁阀在时间控制系统中的作用至关重要。

高压共轨系统中，由于泵油与喷油功能分开，进入喷油器的燃油压力能基本保持不变，整个喷油过程中的喷油始点及喷油脉宽，几乎都是在控制器的控制下由电磁阀执行的。通过电磁阀的作用，泵油过程中的压力波动，不再干扰喷油过程。因此，电磁阀的作用尤显重要。

2. 电控喷油器结构

高压共轨系统中的电磁阀喷油器，是通过一根较短的高压油管与共轨连接的。电控喷油器与气缸盖的固定方式与传统的喷油器一样。电磁阀控制喷油器结构如图 1-23 所示，主要由电磁阀 2、压力放大系统和孔式针阀偶件等几部分组成。

压力放大系统主要由压力控制室 6、控制活塞 14 及针阀体盛油槽 12、针阀 11 等部分组成。与共轨压力相等的高压燃油由高压油入口 16 进入喷油器后，分两路流动。

一路由进油节流孔 15 进入控制活塞 14 顶部的压力控制室 6 内，控制室内的燃油压力作用在控制活塞的 A 面上，直接压在针阀 11 尾部，能控制针阀升程。

另一路由针阀体上的进油孔 13 进入盛油槽 12 内，作用在针阀锥面 B 上的燃油压力，其垂直向上的分力均与共轨压力相等，但由于控制活塞承压面 A 的面积要大于针阀锥面 B 上的垂直向上的环形承压面积，因此，作用在控制活塞 A 面上的总压力，要大于针阀环形锥面上的垂直向上的总压力，使向下的作用力能得到一定比例的放大。

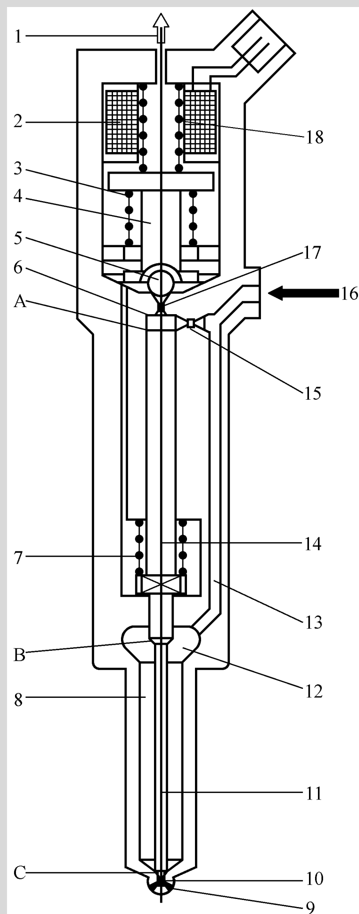


图 1-23 电磁阀控制喷油器

1—回油管（流回油箱） 2—电磁阀 3—衔铁弹簧 4—衔铁 5—球阀 6—压力控制室 7—针阀弹簧 8—高压油路 9—喷孔 10—针阀压力室 11—针阀 12—盛油槽 13—针阀体进油孔 14—控制活塞 15—进油节流孔 16—高压油入口 17—出油节流孔 18—电磁阀弹簧 A—控制活塞顶面 B—针阀锥面 C—针阀座面

3. 电控喷油器工作原理

根据柴油机运行工况和共轨轨道向喷油器提供的高压燃油，喷油器可分为四个工作状态（图 1-24）。

（1）针阀关闭状态（图 1-24a） 电磁阀未通电时，衔铁 4 在电磁阀弹簧 18 的作用下，克服了衔铁弹簧 3 的弹力，使球阀 5 关闭了出油节流孔 17，这时压力控制室 6 内虽有很高的燃油压力，但由于出油节流孔孔径不大，作用在球阀上的压力很小，无法推开球阀，球阀因此处于关闭状态，这时针阀承受着下列几种作用力。

1）使针阀向上开启的作用力，即具有轨道压力的燃油作用在针阀锥面 B 上的垂直向上分力。



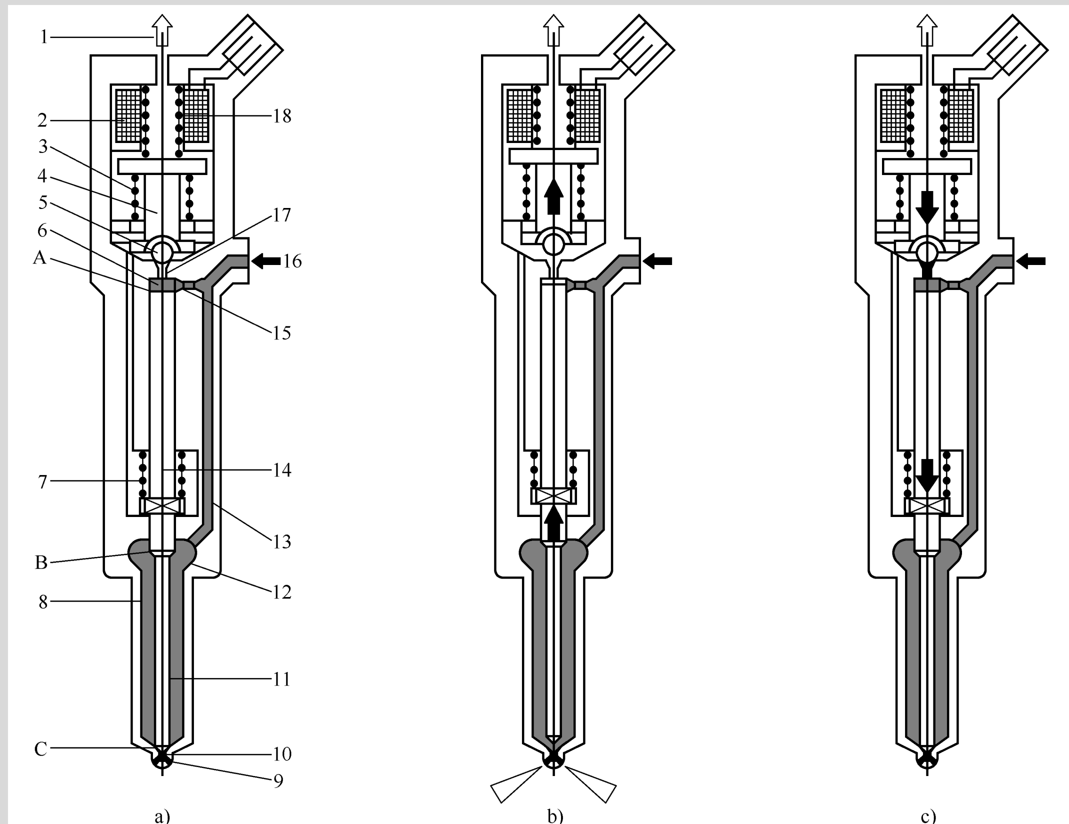


图 1-24　电磁阀控制喷油器工作原理

a）针阀关闭状态（喷油开始前）　b）针阀升起喷油　c）喷油结束针阀关闭

1—回油管（流回油箱）　2—线圈　3—衔铁弹簧　4—衔铁　5—球阀　6—压力控制室　7—针阀弹簧　8—高压油路　9—喷孔　10—压力室　11—针阀　12—盛油槽　13—针阀体进油孔　14—控制活塞　15—进油节流孔　16—高压油入口　17—出油节流孔　18—电磁阀弹簧　A—控制活塞顶面　B—针阀锥面　C—针阀座面

2）使针阀保持在关闭状态时的向下作用力。

① 压力控制室 6 的燃油压力通过活塞作用在针阀顶面上的压力。

② 针阀弹簧 7 作用在针阀上的压力。

在电磁阀不通电的条件下，由于有压力放大作用，使针阀关闭的燃油压力大于使针阀升起的油压推力，加上针阀弹簧 7 的压力，因此，针阀处于喷油前的关闭状态。

（2）针阀开始升起（喷油始点，图 1-24b）　针阀处于喷油前的静止状态时，由控制器发出指令，为提高电磁阀的响应速度，以高电压、大电流对电磁阀线圈通电，线圈 2 迅速产生强大的电磁吸力，使衔铁 4 克服了电磁阀弹簧 18 的预紧力，快速上移，球阀 5 被打开，出油节流孔 17 开通，压力控制室 6 内的燃油从出油节流孔流向其上方空腔，并从该空腔经回油管 1 流回油箱。出油节流孔打开后，压力控制室 6 内的燃油立即卸压。压力控制室内作用在控制活塞 14 上的燃油压力会迅速降低，而这时作用在针阀锥面 B 上的向上作用力，依

然保持为轨道压力未变，因此，会产生压差，使针阀能克服针阀弹簧 7 的预紧力快速升起，并打开针阀座面，使具有轨道压力的高压燃油，从阀芯座面通道经压力室 10 的喷孔 9 喷入燃烧室，如采用无压力室针阀偶件，则针阀升起后，高压燃油会直接从喷孔喷入气缸。与此同时，由于衔铁上升，磁路中气隙 δ 减小，起动时的大电流可以及时降低到电磁铁所需的维持电流。

针阀升起与喷油开始几乎是同时发生，因此，把针阀升起的瞬间称为喷油始点。

（3）针阀最大升程　针阀从静止状态的升程为零，开始升起到最大升程，需要一个升起过程，在这区间喷油一直在进行。

针阀升程由零到最大的过程中，针阀座面开度由全关到全开。流经座面的燃油节流阻力由最大到最小，不同的开度会产生不同的节流规律，对喷油量产生不同的影响。

针阀在升起过程中，控制活塞 14 同时上移，使压力控制室 6 内的容积逐渐减小，这时如果控制室内无燃油流出，则其内部压力会不断升高，并将阻挡针阀升程的加大。因此，在针阀上移的过程中，压力控制室内必须继续有部分燃油从出油节流孔 17 流出，保持一定的压降才行。

由于与压力控制室相通的不仅有出油节流孔 17，还有进油节流孔 15，当压力控制室内因部分燃油流出后，产生一定压降的同时，具有轨道压力的高压燃油，从进油节流孔 15 经节流后不断向压力控制室内补充，又使控制室内压力回升。由此可见，针阀在升起过程中，压力控制室内燃油有出有进，为了保证针阀升起能连续进行，要求出得快、进得慢，因此，出油节流孔的直径一般要大于进油节流孔的直径。

上述分析表明，出油节流孔 17 直径大于进油节流孔 15 时，会使针阀具有一定的上升速度，但如果出油节流孔直径与进油节流孔直径差距过大，会使针阀上升速度过快，造成初始喷油速率过高，会影响柴油机的噪声及排放；如果出油孔与进油孔直径相差过小，针阀上升速度会过慢，造成初始喷油速率过低，同样会影响柴油机性能。

控制活塞 14 随针阀升起而上移，当针阀达到最大升程时，控制活塞移到最高位置，压力控制室 6 内的燃油在控制活塞上移过程中，其顶部形成一层近似于垫片的油垫，限制了控制活塞的继续上移。控制活塞到达上止点，如无油垫存在，则属机械限位，控制活塞每次上移时，必受一次机械撞击，容易磨损。而有油垫存在后，控制活塞到达上止点时属于液压限位，只有柔性撞击，零件寿命可以延长。

从针阀开始升起的喷油始点到喷油终点，喷油压力始终保持与轨道压力相等的高压状态。

（4）针阀关闭（喷油结束，图 1-24c）　当喷油脉宽满足要求后，电磁阀在控制器指令下，切断线圈 2 的电流，电磁力消退，电磁阀弹簧 18 开始压衔铁 4，使球阀 5 又处于关闭状态，出油节流孔 17 被堵塞。

出油节流孔的关闭，高压燃油从进油节流孔 15 进入压力控制室 6 内后，控制室内的燃油只有进，没有出，因此，压力会很快升高，达到相等的高压。这种高压作用在控制活塞顶部的 A 面上，所形成的压力与针阀弹簧力的合力，很快超过了针阀锥面上向上的燃油压力后，针阀就会快速关闭，喷油结束。

针阀的关闭速度取决于通过进油节流孔的流量，针阀从下移开始直至座面落座，才把喷孔通道关闭，喷油停止。



由于共轨中的压力一直存在，所以任何时刻喷油器都可以在电磁阀的控制下喷油、停油，这也为柴油机在每个工作循环内实现多次喷射，创造了有利条件，这也是脉动时间控制系统无法与之比拟的。

4. 电控喷油器的控制

电磁阀的控制可以分为五个区（图 1-25）进行分析。

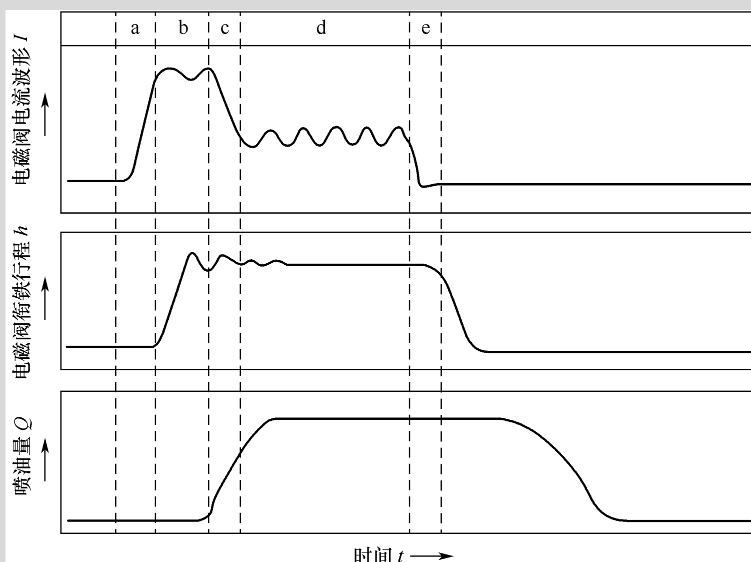


图 1-25　电磁阀喷油器电流波形

a—大电流起动　b—大电流吸合　c—最大电流到维持电流
d—维持电流　e—电流断开

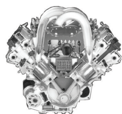
（1）电流陡峭上升区　为了使静止的电磁阀衔铁能迅速起动，由控制器对电磁阀施加约 50V 的高压，电流会快速上升到约 20A 的大电流，所产生的电磁力能使电磁阀克服静态惯性迅速起动。图 1-25 中的 a 区即电流波形的陡峭上升区。

（2）大电流区　起动电流上升到约 20A，由电流调节系统限制不再上升，电流到达约 20A 时，电磁阀衔铁开始移动，为保证衔铁能连续移动，大电流维持片刻不变，如图 1-25 中的 b 区。在 b 区内衔铁快速移动，行程 h 迅速加大。

（3）电流由最大到维持过渡区　当电磁阀衔铁行程 h 移到最大位置，衔铁与铁心间的气隙最小，关闭出油节流孔的球阀全开，喷油已开始，这时把电流降到较低的维持电流，所产生的电磁吸力足够把衔铁吸合在最小气隙位置，球阀保持在开启状态。球阀开启，针阀上升。图 1-25 中的 c 区即由最大电流向维持电流的过渡区。

（4）维持电流区　为降低能耗，防止烧坏线圈，将最大电流降低到维持电流，如图 1-25中的 d 区。在 d 区内电流为约 13A，是维持电流，电磁阀衔铁与球阀也处于开启状态。针阀升程保持在最高位置。

（5）电流断开区　喷油结束后，切断电磁阀电流，电磁阀衔铁在弹簧 3 的作用下，关闭球阀，针阀落座。



—◎◎◎　第三节　高压共轨柴油系统的控制功能与优点　◎◎◎—

一、电控高压共轨系统的控制功能

1. 控制喷油量

发动机电控单元（ECU）根据发动机转速和油门开度信号以及温度、压力等辅助信号，计算发动机实际运转工况下的最佳喷油量，ECU 通过控制电磁阀通、断电时刻及通、断电持续时间直接控制喷油量，使发动机在最佳状态下运转。

2. 控制喷油压力

蓄压器（油轨）压力传感器用来测量油轨内的燃油压力，从而调整高压油泵的供油量，控制油轨中的燃油压力。蓄压器中的压力大小决定了喷油器喷油压力的大小。ECU 还根据发动机的转速、喷油量大小与预置的最佳值相比较进行反馈控制。

3. 控制喷油速率

ECU 根据发动机实际运行工况设置并控制预喷、主喷和后喷。

4. 控制喷油时间

ECU 根据发动机转速和负荷等参数，准确计算出最佳喷油时间，并控制电磁喷油器的开启时刻、关闭时刻，准确控制喷油时间。

5. 控制喷射方式

高压共轨系统多采用多次喷射。多次喷射是将每一个工作循环中的喷油过程分成几段进行，每段喷油都是相互独立的，目的是控制燃烧速率。在共轨系统中采用的多次喷射包括先导喷射、预喷射、主喷射、后喷射和次后喷射等。在多次喷射过程中，电磁阀执行着开启和关闭动作，可以实现喷油规律的优化。在主喷之前的预喷射可以降低燃烧噪声，为减少可吸入颗粒物（PM）排放量，使预喷射靠近主喷射，从而可有效地降低 PM 排放量。而后喷射过程，少量燃油随废气排放、再燃烧会使有害颗粒物进一步燃烧掉，更为有效地减小 PM 的排放。图 1-26 所示为喷油器针阀升程与曲轴转角的关系。表 1-7 为多次喷射作用效果。

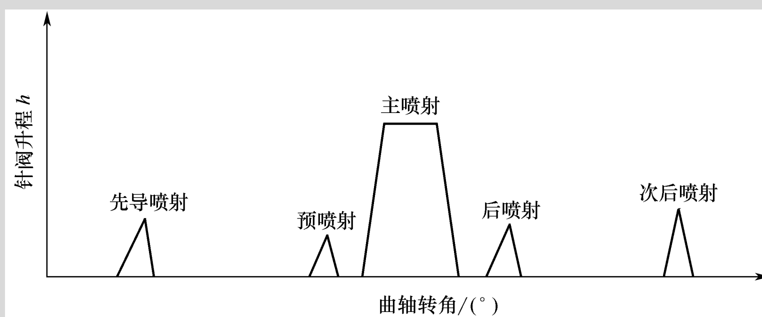


图 1-26　针阀升程与曲轴转角的关系

在电控共轨系统中，通过发动机转速传感器、油门开度传感器、温度传感器以及其他传感器实时检测出发动机的实际运行状态，由电控单元根据预先设计的计算程序进行计算后，确定该运行状态最佳的喷油量、喷油时间、喷油率等参数，使发动机始终都能在最佳状态下工作。



表 1-7　多次喷射作用效果

喷 射 方 式	作 用 效 果
先导喷射	进行预混合燃烧，可降低吸入颗粒物
预喷射	缩短主喷射的着火延迟，降低 NO_X 和燃烧噪声
后喷射	促进扩散燃烧，降低颗粒物
次后喷射	进气温度升高，通过供给还原剂进行后处理，降低 NO_X 和颗粒物

博世公司和电装公司的研究结果已经表明：在直喷式柴油机中，采用电控共轨式燃油系统与采用普通凸轮驱动的泵喷嘴系统相比，电控共轨系统与发动机匹配时方便灵活多了，其突出优点可以归纳如下。

1）广阔的应用领域（用于轿车和轻型载货车、每缸功率可达 30kW，用于重型载货车以及机车和船舶用柴油机，每缸功率可达 200kW 左右）。

2）更高的喷油压力，目前可达 140MPa，不久的将来计划达到 180MPa 或更高的压力。

3）喷油始点、喷油终点可以方便地改变。

4）可以实现预喷射、主喷射和后喷射，可以根据排放等要求实现多段喷射。

5）喷油压力与实际使用工况相适应。在电控共轨式燃油系统中，喷油压力的建立与燃油喷射之间无相互依存关系，喷油压力不取决于发动机转速和喷油量。在高压燃油存储器（即共轨管）中始终充满喷射用的具有一定压力的燃油。喷油量由电控单元计算决定，受到的其他制约条件很少。

6）喷油正时和喷油压力在电控单元（ECU）中由存储的特性曲线谱（MAP）算出，然后通过控制安装在各气缸上的喷油器电磁阀予以实现。

电控共轨系统中，电控单元（ECU）接收和处理由各传感器检测到的信号，对发动机以及车辆其他系统进行控制和调节。

注意

曲轴转速传感器检测发动机转速，凸轮轴转速传感器确定发火顺序（相位）。加速踏板位置传感器是反映驾驶人的驾驶意图以及对转矩要求的传感器，是由驾驶人直接操控的传感器，能够反映发动机的实时负荷状况。空气流量传感器检测空气质量流量。在涡轮增压并带增压压力调节的发动机中，增压压力传感器检测增压压力。在低温和发动机处于冷态时，电控单元可根据冷却液温度传感器和空气温度传感器的数值对喷油始点、预喷油及其他参数进行最佳匹配。根据车辆的不同，还可以将其他传感器和数据传输线接到 ECU 上，以适应日益增长的安全性和舒适性要求。

电控共轨系统中计算机具有自我诊断功能，对系统或主要传感器、执行器进行实时监测，一旦发现工作参数偏离最佳运行状态，诊断系统会通过点亮仪表板上的故障指示灯向驾驶人发出警报，并根据故障情况自动做出处理：或使发动机立即停止运行、或切换控制模式，起动应急功能，使发动机和车辆继续维持工作，勉强行驶到安全的地方。

在电控高压共轨系统中，供油压力与发动机转速、负荷无关，是可以独立控制的。由共轨压力传感器检测出燃油压力，并与设定的目标喷油压力进行比较后进行反馈控制。表 1-8 为高压共轨系统的基本特点。

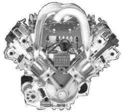


表 1-8 高压共轨系统的基本特点

对燃油系统的要求		高压共轨系统的优点
喷油压力	最高喷油压力	无二次喷油等的约束,可以实现高压喷射,因为压油和喷油分别进行,所以,喷油压力可以控制(喷油压力和转速无关)
	喷油压力控制	
喷油速率控制		系统直接控制针阀运动,这对控制喷油率非常有利(如靴形喷油率,预喷射,多段喷射等)
喷油量控制		电磁阀的通/断电时刻可以自由控制(无约束)
喷油时间控制		
系统的构筑(合理性、生产性)		可以自由设定喷油参数:喷油压力、喷油量和喷油时间等,各个参数可以独立地满足相应的要求。在满足要求方面没有约束,自由度高

二、电控高压共轨柴油喷射系统的优点

1）燃油经济性好，降低了噪声，提高了尾气排放标准。高压柴油喷射系统喷油压力高，喷射过程分预喷、主喷和二次喷射，使燃油雾化好、燃烧充分，可降低燃烧噪声和燃油消耗，并可降低 NO_x 排放量。

2）电控柴油机运转平稳。高压共轨系统，其喷油压力与转速无关，只取决于蓄压器中的燃油压力，喷油压力由压力传感器监测，使压力保持一致。解决了传统喷油泵高、低速时压差过大问题，也解决了柴油机运转不稳的问题。

3）电控柴油机工作可靠。电控柴油机控制系统中，ECM 随时监测传感器输入的工作参数是否正确。当某些参数超过设定值时，ECM 立即报警，同时控制执行器进行调节和修正，直到发动机工作正常为止。如果 ECM 监测到一些重要参数不正确并将会影响到柴油机工作可靠性时，ECM 会使燃油喷射高速电磁阀切断燃油通路，使发动机进入自我保护状态，避免造成损失。

4）具有故障诊断功能，减少了维修工作量。ECM 对发动机电控系统中的传感器、执行器和连接线路进行监测，当传感器及其连接电路出现故障时，ECM 会确认故障，并以故障码的形式存储，为排除故障带来方便。

5）对柴油机的调速可精确控制。在电控柴油机喷射系统中，机械离心式调速器被电子调速器代替，燃油喷射量只与发动机负荷和转速有关，与油门调节无关，所以电控柴油机调速控制精度高。

6）响应速度快，控制更为精确。在高压共轨喷射系统中，采用压电式喷油器，响应速度快，解决了电磁阀时间滞后问题，使喷油迅速、断油时间准确，控制精度高。

7）电控柴油机应用广泛。电控高压喷射柴油机由于采用直喷、涡轮增压、每缸四气门，使排放的颗粒物大大减少，因而广泛应用在小客车、轻型客车、大型城市客车及中、重型载货汽车上。

三、电控高压共轨技术的现状与未来

1. 国内外研究现状

电控燃油共轨技术现在是主要的发展趋势，但是在新技术的使用过程中，根据不同发动机的使用特点，使得电控燃油共轨技术在不同的使用条件下，在与发动机系统的匹配上还有



很大的发展空间，尤其是在共轨技术的研究与开发方向上。目前该项新技术已经在国内外以柴油提供动力的汽车上广泛使用。这是世界汽车工业为满足日益严格的废气排放标准的必然趋势。

目前世界上主要的大公司，如日本电装公司、德国博世公司、意大利菲亚特集团、美国德尔福公司和美国福特都在研发和生产柴油机高压共轨系统。共轨系统将燃油压力的产生和燃油喷射分离开来，如果把单体泵柴油喷射技术比做柴油技术的革命的话，那共轨就可以称作反叛了，因为它背离了传统的柴油系统而近似于顺序汽油喷射系统。**共轨系统开辟了降低柴油发动机排放和噪声的新途径。**

由于其强大的技术潜力，今天各制造商已经把目光定在了共轨系统第 3 代——压电式（piezo）共轨系统。压电执行器代替了电磁阀，得到了更加精确的喷射控制。没有了回油管，在结构上更简单。压力从 0.2～2kPa 弹性调节。最小喷射量可控制在 0.5mm^3，减小了烟度和 NO_x 的排放。

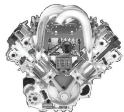
日趋严重的能源危机，成为全世界内燃机行业关注的焦点，也使柴油机越来越受到用户青睐。与汽油机相比，柴油机有很多优势：能减少 20%～25% 的 CO_2 废气排放，车速较低时的加速性能更有优势，平均燃油消耗低 25%～30%，能提供更多的驾驶乐趣。但是，与汽油机相比，柴油机的排放控制又是一个难点。为满足排放标准，柴油机先进的燃油喷射系统——高压共轨技术成为业内人士关注的焦点。前些年，高压共轨技术是外资一统天下，现在这种局面被打破了。

2005 年 12 月 30 日，北京率先实施国Ⅲ排放标准。2006 年 7 月 31 日，上海公交、出租车行业新车实施国Ⅲ排放标准。2006 年 9 月 1 日，广州开始实施国Ⅲ排放标准。2010 年，全国实施国Ⅳ排放标准。

排放标准的提升，必然推动发动机技术的发展。对于汽油发动机，由于技术相对成熟且有后处理，因此满足目前排放标准难度不大。对于柴油发动机，由于目前大部分还是机械式燃油系统，且柴油机直喷技术发展历程较短，因而为满足排放标准要求必须重新设计发动机。我国目前大部分采用引进技术来满足现阶段排放标准（国Ⅲ），但也有部分企业在进行自主研发，如中国一汽无锡油泵油嘴研究所、成都威特等。

自从 1991 年日本电装公司发表 ECD—U2 高压共轨系统论文以来，国外燃油系统制造商纷纷投入巨额资金和人力开发共轨系统。博世公司于 1995 年发表了用于轿车的高压共轨系统，采用径向柱塞转子式供油泵，喷油器电磁阀采用球阀结构。目前博世公司共轨系统在欧洲乘用车和轻型车柴油机上已得到普遍应用，如德国奔驰公司 C 系列轿车、意大利阿尔法·罗密欧 156 轿车，以及德国大众奥迪 3.3L V8 涡轮增压柴油机、美国通用公司与日本五十铃公司合资生产的 Duramax 6600 柴油机和美国康明斯公司的 ISBe 3.9L 和 5.9L 全电控柴油机等。德尔福与西门子分别在 1998 年和 2000 年推出轿车 MultecDCR1400 共轨系统，采用径向柱塞转子式供油泵。德尔福公司的喷油器电磁阀设计在喷油器内，使得喷油器体积更小巧；西门子喷油器采用压电执行器，响应时间更短；而日本电装公司在 1991 年研究开发出 ECD—U2 第一代产品，并于 1995 年匹配 Hino 的 J08C 柴油机、五十铃的 6HK1 柴油机，经过多年的改进与完善，最新产品为已用于轿车的 ECD—U2P 系统。

目前，共轨燃油喷射系统应用十分普遍，博世公司已生产出 2500 万套共轨系统，并在江苏无锡投资建设了技术中心和工厂，实现了本地化生产。长城汽车与博世公司开发出了高



压共轨柴油发动机，此外奥迪、奔驰、华泰等品牌也推出了采用共轨系统的汽车。我国部分大学、研究所和企业也通过合作或独立自主研发，取得了各具特色的研究成果，并有数十项专利公布。因此，我国在电控直喷式柴油机方面已积累了一定的经验，但总体来说与国外还存在差距，主要体现在制造工艺和批量生产的质量控制。此外，国内共轨系统相关配套体系不健全，部分零部件还依靠进口，如单片机芯片、共轨压力传感器等。

国外公司与我国企业竞争已不占绝对优势。相对于汽油机而言，国内在电控柴油机方面与国外差距相对较小。这得益于两方面原因：一是我国原有柴油机使用车辆大都具有自主品牌；二是我国柴油机使用车辆的舒适性要求不高，价格低廉，国外公司与我国企业竞争不占优势。随着排放标准的提高，柴油机必须采用电控喷射系统。目前国内柴油电控系统主要有共轨、单体泵等，和国外先进技术相比，虽然还不具备对等的实力，但发展势头良好。如无锡油泵油嘴研究所研发的共轨系统已在无锡公交车上使用，同时国内从事电控柴油机研发的企业数量较多，因而国内电控柴油机市场今后一定会有所作为。而国外公司提供的产品价格相对较高，供货价格取决于批量，在目前我国电控柴油机批量还不大的前提下，他们很难拿到比较满意的价位。

同时，在售后服务及配件供应方面，国内自主品牌系统也存在明显的优势。国内自主研发的电控燃油系统竞争力主要体现在以下几方面：

首先，价格便宜，经济批量较小。其次，对于轻卡产品，在批量不大的情况下匹配共轨技术，可选择高喷射压力的 PM 型直列泵 + 电子调速器 + 冷却 EGR 方案，这也是我们的优势。还有，对于中、重型车辆，在国Ⅲ阶段已开始实施共轨、单体泵等技术路线。

当然，国内在电控柴油机系统方面还面临很多挑战，如制造工艺不成熟，批量规模较小；燃油品质难以保证；柴油机后处理技术水平不高等。但这些会随着时间的推移，不久将逐步得到解决。

2. 发展趋势

就燃油喷射控制原理而言，各种共轨喷射系统近期不会有大的变化。未来的柴油机燃油喷射系统将向着高喷射压力、喷油量及喷油定时可灵活控制、最佳喷油速率控制的方向发展，全电子控制的燃油喷射系统是实现燃油喷射过程柔性控制的必然趋势。综合分析国内外对柴油机电控燃油喷射系统的研究历史和现状，以下几点是研究的目标。

1）进一步高压化。为解决尾气排放达标问题，最根本还是提高共轨压力。电控高压共轨燃油喷射系统的发展趋势是喷射压力达 180 ~ 200MPa，甚至出现了“超高压喷射”的概念。当然，喷射压力也不是越高越好。相关研究指出，在保证油束贯穿距离足够大、压力提高值对燃烧改善效果明显的前提下，最高喷射压力取 180MPa 为宜。

2）更小的喷孔直径、更短的响应时间和更低的功率消耗，提高关键部件的可靠性和寿命。随着喷射压力的提高，对电磁阀、喷油器的要求也相应提高，要求其响应速度高，高压稳定性好，同时可靠性好，寿命长，这将依赖于零部件制造技术的发展。关键技术如采用压电晶体喷油器代替原有的电磁阀进行控制。

柴油机高压共轨喷射系统的研究方向如下。

① 新型智能型传感器的研制，更高精度和响应速度的传感器的生产和应用。

② 新型电磁阀的研究。未来的电磁阀要求有更快的响应能力、工作精确性、重复性、可靠性以及良好的流通能力。如用压电陶瓷驱动器研制高响应电磁阀。



③ 共轨燃油压力波动的控制和计算的研究，持续恒压反馈控制的进一步深入研究和完善。

④ 最佳控制策略的研究，即多次喷射的控制技术以及通过控制压力调节喷油规律等。

⑤ 安全保护与提高故障诊断及紧急运行能力的研究。

⑥ 研究整个喷射系统优化匹配。



第二章 柴油发动机高压共轨燃油系统的结构和原理

第一节　高压共轨电子控制系统的组成与工作原理

高压共轨电子控制系统主要由信号传输装置、电子控制器和执行器等组成。电子控制器是电子控制系统的核心部分。电子控制系统的框图如图 2-1 所示。

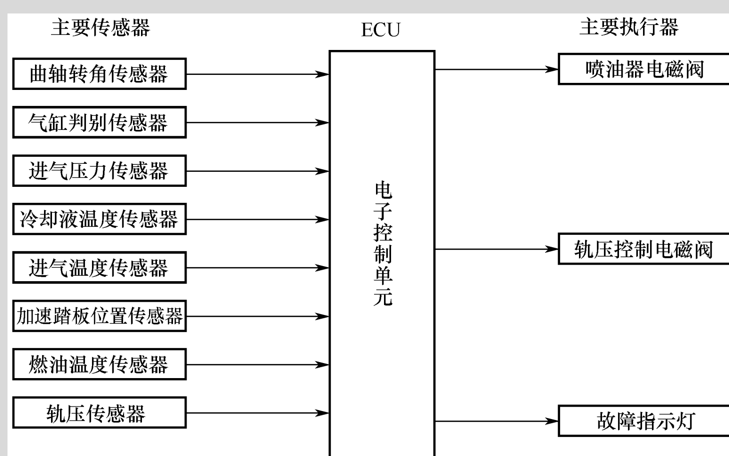


图 2-1　高压共轨电子控制系统框图

一、信号传输装置

信号传输装置可分为传感器和开关两部分。

1. 传感器

（1）发动机冷却液温度传感器

1）作用。冷却液温度传感器安装在发动机缸体或缸盖的水套出水口处，与冷却液接触，通过冷却液测定发动机的温度。**ECU 据此信号对基本喷油量进行修正；特别是在冷车起动时对喷油器有加浓的作用；有些车辆还可作为冷却风扇的起控信号；同时也是柴油机预热控制的主要依据。**



2）结构与原理。冷却液温度传感器的内部是一个半导体热敏电阻（图 2-2a），它具有负的温度电阻系数。冷却液温度越低，电阻值越大；反之，冷却液温度越高，电阻值越小（图 2-2b）。测量的温度范围为 -40 ~ 135℃。

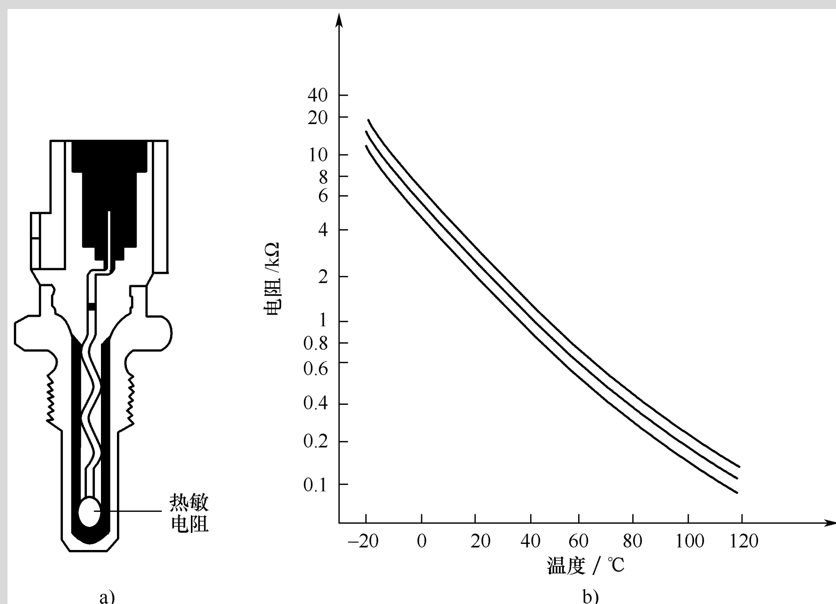


图 2-2　冷却液温度传感器

a）构造　b）电阻与冷却液温度的关系

（2）进气温度传感器

1）作用。进气温度传感器安装在进气道中，用于测量进气温度，ECU 还根据增压压力传感器测定的进气压力信号，**精确确定吸入发动机的空气质量，使发动机自动适应外部环境温度和大气压力的变化，对基本喷油量进行修正，实现闭环控制**。该传感器测量的温度范围为 -40 ~ 120℃。

2）结构与原理。进气温度传感器的结构与原理同冷却液温度传感器相同。目前车辆上有两种安装方法：一种是独立安装的传感器；另一种是集成安装在进气压力传感器或空气流量传感器中。

（3）燃油温度传感器

1）作用。燃油温度传感器安装在低压燃油管路上，用来测量燃油温度，计算燃油密度，ECU 根据燃油温度修正喷油量。它的测量范围是 -40 ~ 135℃。

2）结构与原理。燃油温度传感器的结构与原理同冷却液温度传感器相同，只是参数不同而已。

（4）空气流量传感器

1）作用。空气流量传感器直接检测吸入发动机的进气量，并将进气量以电信号的方式传输给 ECU，**作为电控单元确定发动机基本喷油量的主要依据。**

2）结构与原理。空气流量传感器常见有叶片式、热膜式、热线式、卡门漩涡式和量芯式等，如图 2-3 所示。

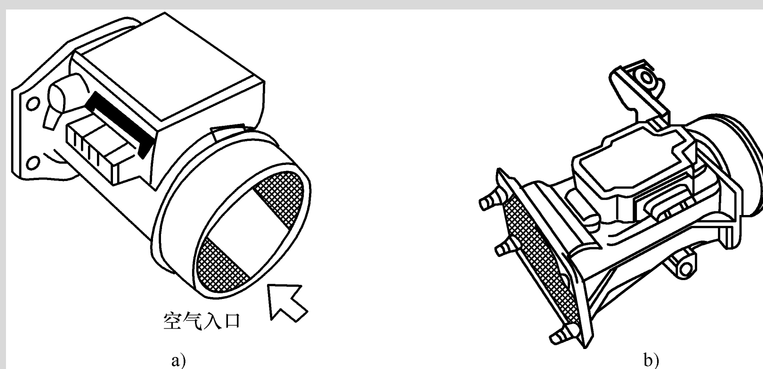


图 2-3　空气流量传感器

a）热线式空气流量传感器　b）卡门漩涡式空气流量传感器

以热线式空气流量传感器为例，其基本结构由感知空气流量的白金热线（铂金属线）、根据进气温度进行修正的温度补偿电阻（冷线）、控制热线电流并产生输出信号的控制线路板以及空气流量传感器的壳体等元件组成。图 2-4 所示为热线式空气流量传感器的结构。

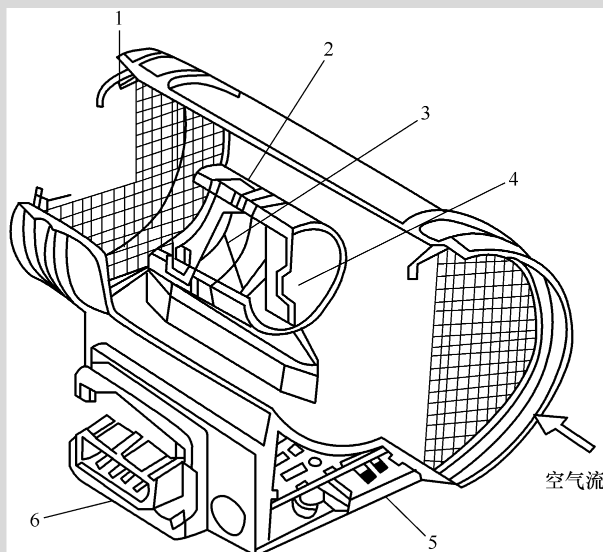


图 2-4　热线式空气流量传感器结构

1—防护网　2—取样管　3—白金热线　4—温度补偿电阻

5—控制线路板　6—电插接器

取样管置于主空气通道中央，由两个塑料护套和一个热线支承环构成。热线为白金丝（R_H），布置在支承环内，其阻值随温度变化，是惠斯顿电桥电路的一个臂。热线支承环前端的塑料护套内安装一个白金薄膜电阻器，其阻值随进气温度变化，称为温度补偿电阻（R_K），是惠斯顿电桥电路的另一个臂。热线支承环后端的塑料护套上粘结着一只精密电阻（R_A），此电阻能用激光修整，也是惠斯顿电桥的一个臂，该电阻上的电压降即为热线式空气流量传感器的输出信号电压。惠斯顿电桥还有一个臂的电阻（R_B）安装在控制线路板上。



热线式空气流量传感器的工作原理是，热线温度由混合集成电路 A 保持其温度与吸入空气温度相差一定值，当空气质量流量增大时，混合集成电路 A 使热线 R_H 通过的电流加大；反之，则减小。这样就使得通过热线 R_H 的电流是空气质量流量的单一函数，即热线电流 I_H 随空气质量流量增大而增大，或随其减小而减小，如图 2-5 所示。

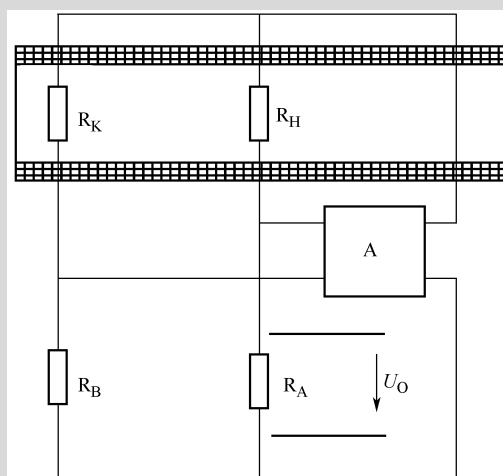


图 2-5　热线式空气流量传感器工作原理

A—混合集成电路　R_H—热线电阻　R_K—温度补偿电阻　R_A—精密电阻　R_B—电桥电阻

目前，热线式空气流量传感器被热膜式空气流量传感器所取代，工作原理相同，只是将热线改为了热膜。热膜由发热金属铂固定在薄树脂膜上。该结构由于发热体不直接承受空气流动所产生的作用力，从而提高了空气流量传感器的可靠性。

注意

空气流量传感器出现线路故障的概率较其本身故障率要高，一旦信号异常，发动机电脑就不能正确地测定吸入发动机的空气量，从而不能正常地进行喷油量的控制，造成混合气过浓或过稀，导致发动机出现运转不稳、加速无力、冒黑烟、回火、动力不足、没有怠速以及无法起动等故障现象。

（5）进气歧管压力传感器

1）作用。**进气歧管压力传感器是间接检测进气量的一种形式，在燃油喷射系统中所起的作用和空气流量传感器相似。**进气歧管压力传感器根据发动机的负荷状态测出进气歧管内压力（真空度）的变化，并转换成电压信号与转速信号等一起输送到电控单元（ECU），作为确定喷油器基本喷油量的依据。在当今发动机电子控制系统中，应用较为广泛的有半导体压敏电阻式、真空膜盒传动式两种。

2）结构与原理。

① 半导体压敏电阻式进气歧管压力传感器。这种进气压力传感器利用的是半导体的压阻效应，因其具有尺寸小，精度高，成本低和响应性、再现性、抗振性较好等优点，现今得到了广泛的应用。该传感器可以安装在进气歧管上或装在靠近进气歧管附近其他不易振动的地方，也有的装在 ECU 内。该传感器用软管与进气歧管连接。其结构如图 2-6 所示，它是由压力转换元件和把转换元件输出信号进行放大处理的混合集成电路等构成的。

压力转换元件也叫压力传感组件，它的主要元件是一个很薄的硅片，中部最薄，只有 20μm，外围较厚，约为 250μm；硅片上下两面各有一层 3μm 厚的二氧化硅膜，如图 2-7 所示。

在膜层中沿硅片四边有四个感应电阻，在硅片四角各有一个金属块，通过导线与应变电阻相连。在硅片一侧粘接一块硼硅酸玻璃片，使硅片一侧中部形成一个密闭室，构成一个固

定的参数压力腔。硅片装在一个密封口内，使硅片的一侧通过管道与进气歧管相通，以便进气压力作用在硅片上。

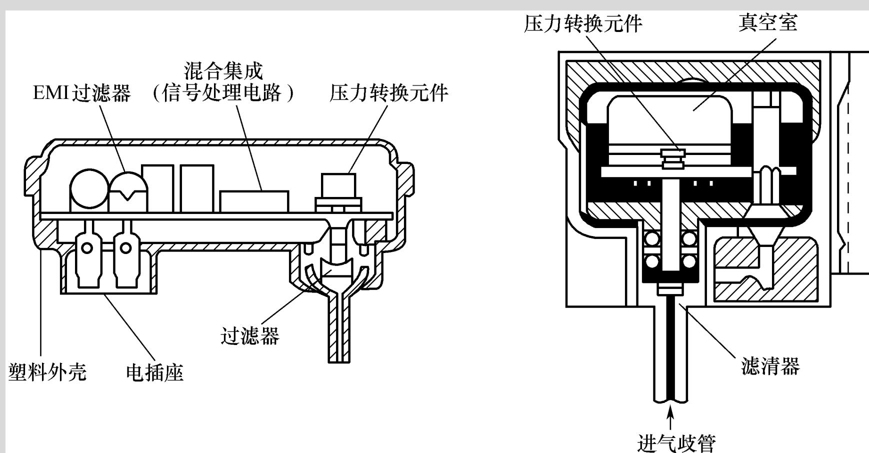


图 2-6　半导体压敏电阻式进气歧管压力传感器结构

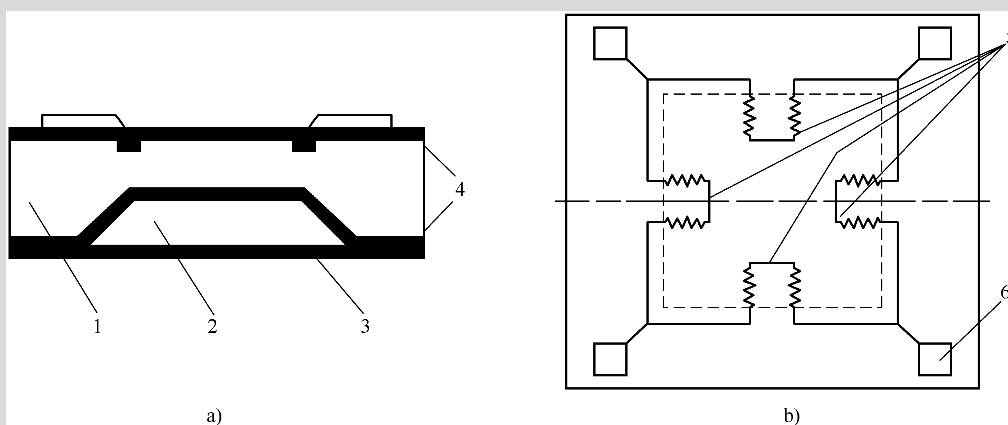


图 2-7　进气歧管压力传感器的压力转换元件

1—硅片　2—密闭室　3—硼硅胶玻璃片　4—二氧化硅胶　5—应变电阻（传感电阻）　6—金属块

硅片周围的四个应变电阻，以惠斯顿电桥的方式进行连接，由 ECU 向其提供 +5V 的稳压电源，如图 2-8 所示。

由于硅片的一侧是密闭室，硅片的另一侧与进气歧管相通，进气压力会对硅片产生压力使硅片弯曲变形。进气歧管压力越高，硅片变形越大。怠速时，进气歧管绝对压力低，硅片变形小，如图 2-9a 所示；大负荷时，进气歧管绝对压力高，硅片变形大，如

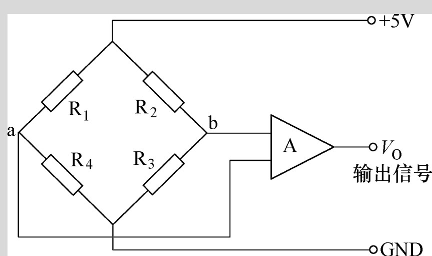


图 2-8　压敏电阻式进气歧管压力传感器工作原理



图 2-9b 所示。硅片的变形引起应变电阻值产生相应的变化，变化时电桥失去平衡，在 a、b 端（图 2-8）形成电位差，由应变电阻组成的惠斯顿电桥会输出与进气歧管压力成正比的电压信号，即信号电压值随进气歧管压力的增大呈线性增大。由于输出的电压信号太微弱，所以经过信号处理电路进行放大等处理后再输出。

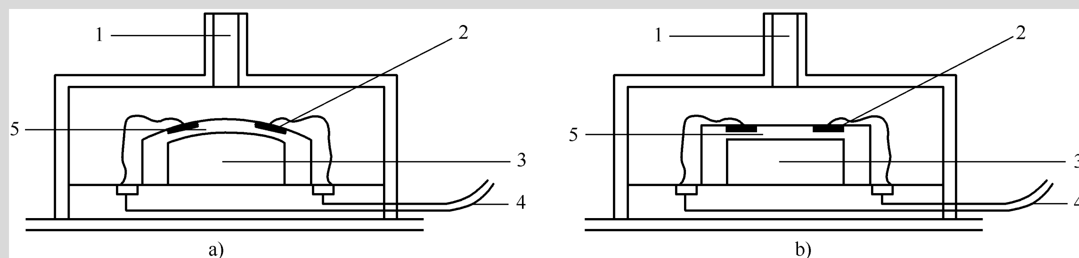


图 2-9 压敏电阻式进气歧管压力传感器工作原理

a）怠速时 b）大负荷时

1—接至进气管 2—应变电阻 3—密闭室 4—导线 5—硅片

进气歧管压力传感器的输出电压特性曲线如图 2-10 所示。

大气环境、地理位置高低的变化，会影响到进气的绝对压力。当点火开关接通而发动机未起动时，它输出的信号表示环境大气压的高低。

② 真空膜盒式进气歧管压力传感器。真空膜盒传动的可变电感式进气歧管绝对压力传感器主要由膜盒、铁心、感应线圈和电子电路等组成（图 2-11）。

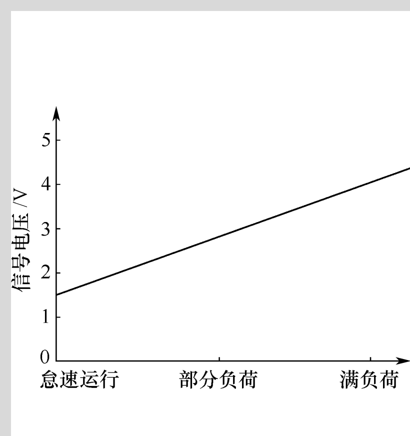


图 2-10 进气歧管压力传感器输出电压特性曲线

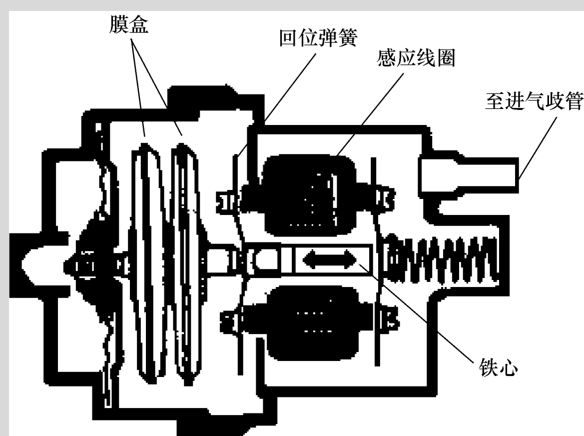


图 2-11 膜盒式进气歧管压力传感器结构

膜盒由薄金属片焊接而成，其内部被抽成真空，外部与进气歧管相通，外部压力变化将使膜盒产生膨胀和收缩的变化，置于感应线圈内部的铁心和膜盒联动，感应线圈由两个绕组构成（图 2-12），其中一个与振荡电路相连，产生交流电压，在线圈周围产生磁场；另一个为感应绕组，产生信号电压。当进气歧管压力变化时，膜盒带动铁心在磁场中移动，使感应线圈产生的信号电压随之变化。该信号电压由电子电路检波、整形和放大后，作为传感器的输出信号送至 ECU。

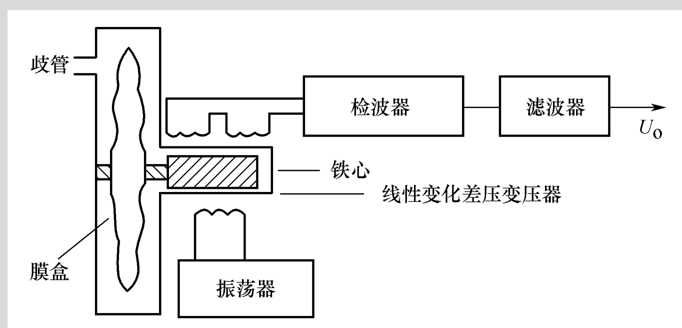


图 2-12　膜盒式进气歧管压力传感器基本工作原理

（6）曲轴位置传感器

1）作用。曲轴位置传感器是发动机电子控制系统中最主要的传感器之一。**它确认曲轴位置、检测活塞上止点、曲轴转角及发动机转速。是 ECU 得到的第一个发动机转动信号。ECU 根据曲轴转速信号与凸轮轴位置信号共同完成喷油器的喷油顺序及喷油时间的分析计算工作。**

2）结构与原理。磁电式曲轴位置传感器的结构如图 2-13a 所示，在永久磁铁的周围绕有线圈，线圈周围是钢材制成的齿轮，当齿轮旋转时，由于齿轮与永久磁铁间的气隙不断发生变化，导致通过线圈的磁力线发生变化，在线圈中就会产生图 2-13b 所示的感应电压，并以交流形式输出。

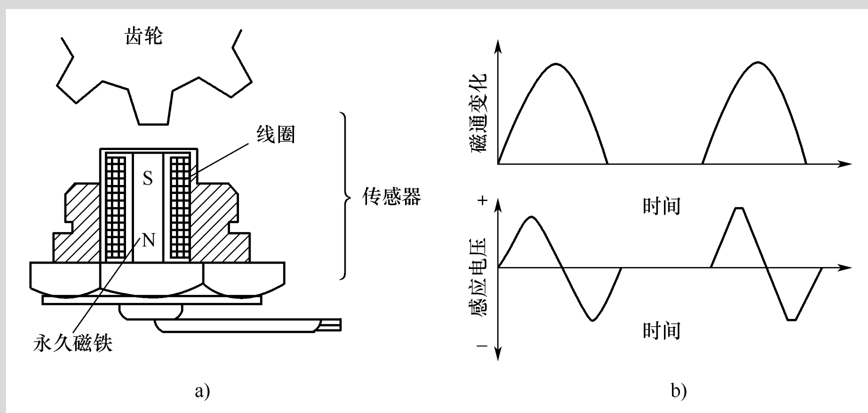


图 2-13　磁电式曲轴位置传感器的结构与输出波形

a）结构　b）输出波形

在电装公司 ECD—U2 电控系统中，曲轴位置和气缸判别传感器均采用了磁电式传感器，且外形基本一样，如图 2-14 所示。

在飞轮上每 7.5°设置一个信息孔，但是，总共缺少 3 个孔。也就是说，在飞轮圆周上共有 45 个孔。发动机每旋转 2 转，将会产生 90 个脉冲信号。曲轴位置传感器接收到信息后，通过传感器线圈的磁力线发生变化，在线圈内产生交流电压。根据这些信号，可以检测出发动机的转速和 7.5°的曲轴转角间隔。



气缸判别传感器和曲轴位置传感器相似，也是利用通过线圈的磁力线变化产生交流电压的特性制成的。在供油泵凸轮轴中间设置了一个圆盘状的齿轮，且每 120° 缺一个齿（凹形切槽），但在某一处多了一个齿。因此，发动机每旋转 2 转则发出 7 个脉冲信号。

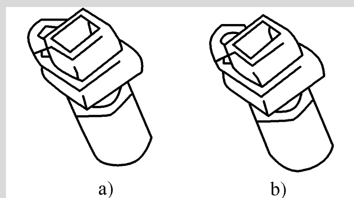


图 2-14　曲轴位置传感器与气缸判别传感器外形

根据曲轴位置传感器和气缸判别传感器信息，可以判断出第一气缸为基准脉冲。

曲轴位置与气缸判别传感器的关系如图 2-15 所示。

注意

曲轴位置传感器出现故障，ECU 将得不到发动机转动信息，直接导致发动机出现无法起动的故障现象。

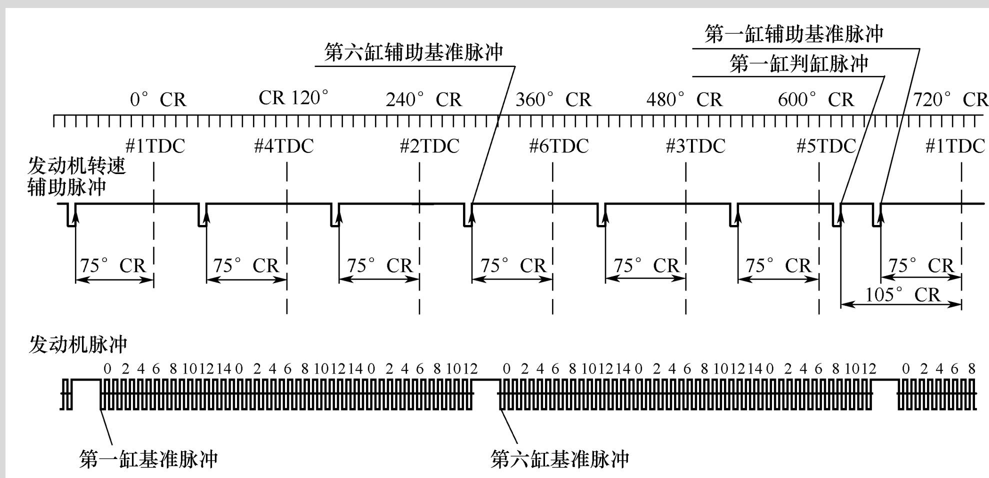


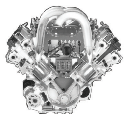
图 2-15　曲轴位置传感器与气缸判别传感器的关系

（7）凸轮轴位置传感器

1）作用。凸轮轴位置传感器是判别发动机做功顺序的关键器件，用于判定运动活塞在上止点时是处在压缩行程还是处在排气行程。该传感器将此信号输入 ECU，ECU 根据此信号与曲轴转角信号共同完成喷油顺序和喷油时刻分析计算工作，是电控燃油喷射系统重要的信号之一。在起动过程中，从曲轴位置是得不到此信息的，与此相反，在车辆运行时，由曲轴位置传感器产生的信息足以确定发动机状态，即使凸轮轴转速传感器在车辆运行过程中失效，ECU 仍能一直知道发动机状态。

2）结构与原理。凸轮轴位置传感器常采用磁电式和霍尔式。下面以霍尔式传感器为例介绍其结构和工作原理。

霍尔信号发生器主要由触发齿圈、霍尔元件、永久磁铁和电子线路等组成。永久磁铁的磁力线穿过霍尔元件通向触发齿圈，这时齿圈相当于一个集磁器。当齿轮处于图 2-16a 所示状态时，磁力线分散，穿过霍尔元件的磁场相对较弱；当齿轮处于图 2-16b 所示状态时，磁



力线密集，穿过霍尔元件的磁场较强，这样就引起霍尔电压的变化。

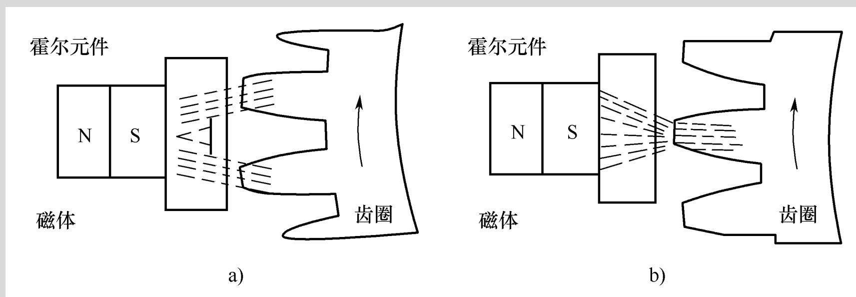


图 2-16　霍尔式信号发生器磁路

a）霍尔元件磁场较弱　b）霍尔元件磁场较强

霍尔元件通过齿圈的运动输出 mV 级的正弦波电压，若要将它变换成标准的脉冲电压，须通过电子线路来实现。图 2-17 是霍尔信号发生器内部电子线路及各级输出波形。霍尔元件通过齿轮的运动变化输出 mV 级的正弦波电压，经放大器放大为 V 级的电压，送施密特触发器输出的为标准的脉冲信号，并产生一定回差以提高稳定性，再送输出级放大输出。

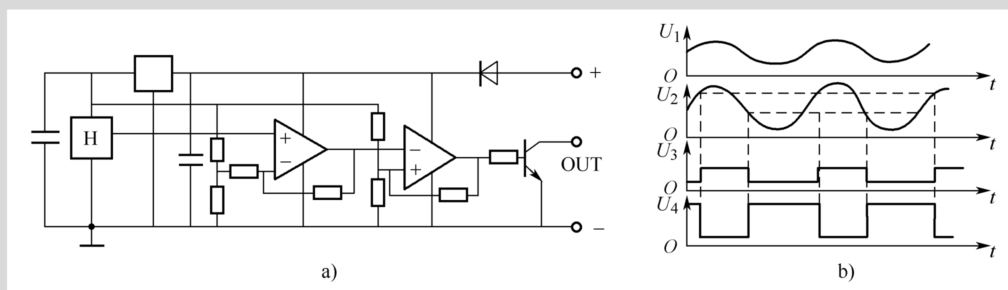


图 2-17　霍尔式信号发生器内部电路及输出波形

a）内部电路　b）输出波形

（8）共轨压力传感器

1）作用。**共轨压力传感器的作用是以足够的精度，在相应较短的时间内，精确快速地测定共轨中的瞬时压力，并将其转换成电压信号输送给 ECU，由 ECU 对燃油计量单元（PCV）实施反馈控制，通过对供油量的增减来调节油压稳定在目标值。**

2）结构与原理。图 2-18 是共轨压力传感器的外形与安装位置。图 2-19 是博世公司共

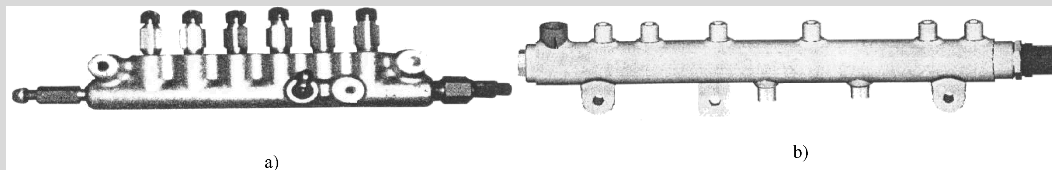


图 2-18　轨压传感器的外形与安装位置

a）电装共轨　b）博世共轨



轨压力传感器的结构。

共轨压力传感器由压力敏感元件（焊接在压力接头上）、带求值电路的电路板和带电气插头的传感器外壳等构件组成。

燃油经一个小孔流向共轨压力传感器，传感器的膜片将孔的末端封住，高压燃油经压力室的小孔流向膜片，膜片上装有半导体型敏感元件，可将压力转换为电信号，通过连接导线将产生的电信号传送到一个向 ECU 提供测量信号的求值电路。

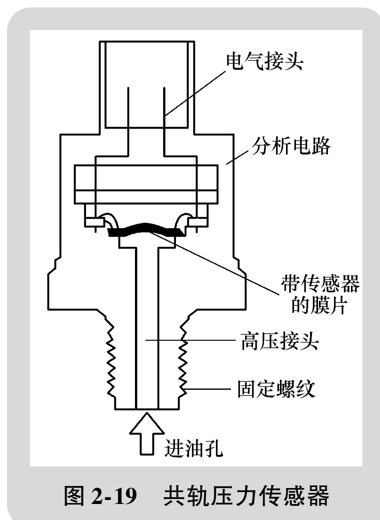


图 2-19　共轨压力传感器

共轨压力传感器的工作原理是，当膜片形状改变时，膜片上涂层的电阻发生变化，这样，由系统压力引起膜片形状变化（150MPa 时变化量约 1mm），促使电阻值改变，并在用 5V 供电的电阻电桥中产生电压变化，电压在 0 ~70mV 之间变化（具体数值由压力而定），经求值电路放大到 0.5 ~4.5V。压力增加，信号电压增大，二者之间为线性关系。

精确测量共轨中的压力是电控共轨系统正常工作的必要条件，为此，压力传感器在测量压力时允许偏差很小，在主要工作范围内，测量精度约为最大值的 2%。共轨压力传感器失效时，具有应急行驶功能的调压阀以固定的预定值进行控制。

图 2-20 是日本电装公司 ECD—U2 型电控共轨系统压力传感器的结构和特性曲线。

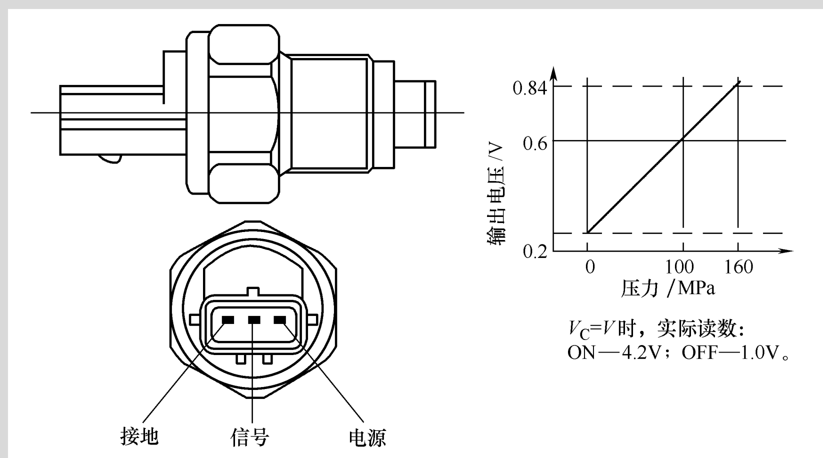


图 2-20　共轨压力传感器的结构和特性曲线

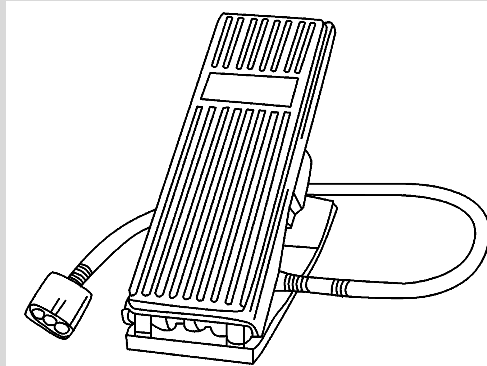

注意

轨压传感器信号失常或失效，不同的车型会出现功率不足、转速受限（1700r/min 以内）或者进入跛脚回家模式，或无法起动及运行的故障现象。

（9）电子油门

1）作用。电子油门也称加速踏板位置传感器（俗称油门踏板位置传感器）；它是唯一

由驾驶人操作的传感器，**其作用主要是反映驾驶人的驾驶意图，进而了解发动机的负荷状况，安装于驾驶室内加速踏板位置。通过踏板位置的变化将发动机的负荷信号转变为电信号传输给发动机电脑，作为喷油增量信息，再与其他传感器信号进行相关比较和计算后，发出指令控制相关执行器，以实现对喷油量的控制**。目前常见的有类似汽油机电控系统使用的具有怠速开关和全负荷开关以及油门开度电位计的混合型加速踏板位置传感器，也称线控驱动式；使用最多的是差动变压器式加速踏板位置传感器，其外形如图2-21所示。


图2-21　电子油门外形

2）结构与原理。

① 线控驱动式加速踏板位置传感器。线控驱动式加速踏板位置传感器由电位计和开关两部分组成。电位计线性反映加速踏板的行程。开关常闭的是怠速信号，常开的是大负荷触点，如图2-22所示。

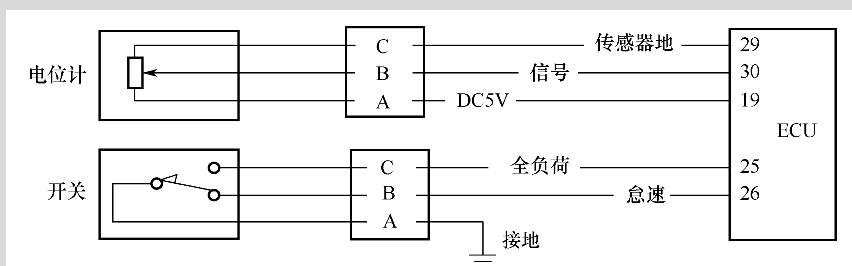


图2-22　加速踏板位置传感器电路

② 差动变压器式加速踏板位置传感器。差动变压器式加速踏板位置传感器，在传感器内装有一对磁铁，磁铁中央有两片霍尔元件。当踩下加速踏板时，磁铁跟着旋转，磁场发生改变而产生电压，可非接触检测油门转动的角度。较电位计式加速踏板位置传感器而言，检测元件无磨损，可靠性好，目前已大量采用，是今后的发展方向，如图2-23所示。

注意

加速踏板位置传感器位置不当、信号失常时，会导致发动机出现无怠速（转速维持在1100r/min左右）、油门不起作用、加速不稳和动力不足等故障现象。

（10）其他传感器

1）发动机转速传感器。**发动机转速传感器是发动机电子控制系统中最主要的传感器之一，在有些车辆上称为曲轴位置传感器，也有称为转速传感器，其作用是确认活塞在气缸内的实际位置，用以控制喷油时刻以及提供发动机转速表的信号**。根据其工作原理，现在大多采用磁电式、霍尔式和笛簧开关式，磁电式、霍尔式的结构与工作原理同曲轴位置传感器和



凸轮轴位置传感器相同。下面仅介绍笛簧开关式发动机转速传感器。

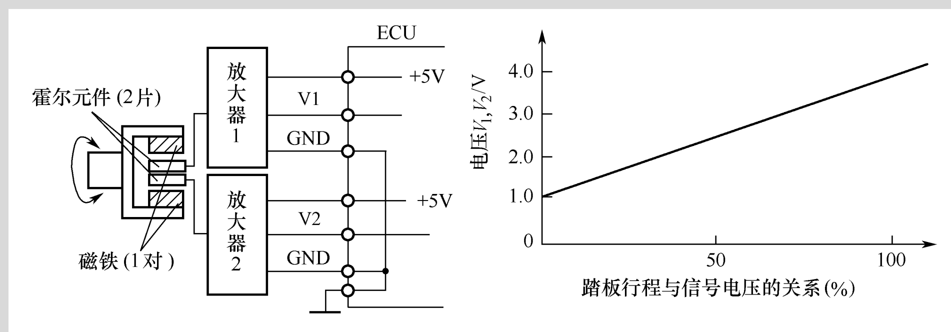


图 2-23　加速踏板位置传感器电路

图 2-24 所示为笛簧开关式发动机转速传感器的结构和工作原理。

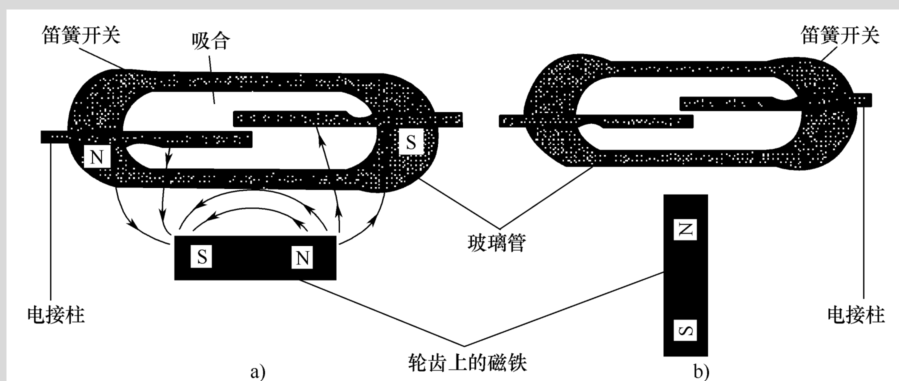


图 2-24　笛簧开关式发动机转速传感器结构与工作原理

a）开关导通　b）开关断开

笛簧开关式传感器是由在玻璃管内装有两个细长的触点构成的，触点由铁、镍等易被磁铁吸引的强磁材料制成，受玻璃管外磁铁的控制，有时触点互相吸引而闭合，有时互相排斥而断开，从而形成了触点的开闭作用。

2）车辆速度传感器。**车辆速度传感器主要用于车速里程表、防抱死制动系统（ABS）以及巡航控制系统**。一般采用电磁感应式、霍尔式、笛簧开关式、光电式和磁阻式。前两种的结构与原理类似于曲轴、凸轮轴和转速传感器。下面仅介绍光电式和磁阻式车辆速度传感器。

① 光电式车辆速度传感器。光电式车速传感器的结构如图 2-25 所

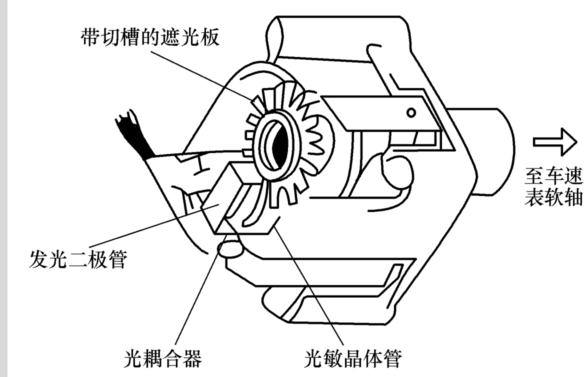


图 2-25　光电式车速传感器的结构

示，它用于数字式速度表上，由发光二极管（LED）、光敏晶体管以及装在速度表驱动轴上的遮光板构成。图2-26所示为光电式车速传感器的工作原理。当遮光板不能遮断光束时，发光二极管的光射到光敏晶体管上，光敏晶体管的集电极中有电流通过，该管导通，这时晶体管 VT_1 也导通，因此在Si端子上就有5V电压输出，脉冲频率取决于车速。

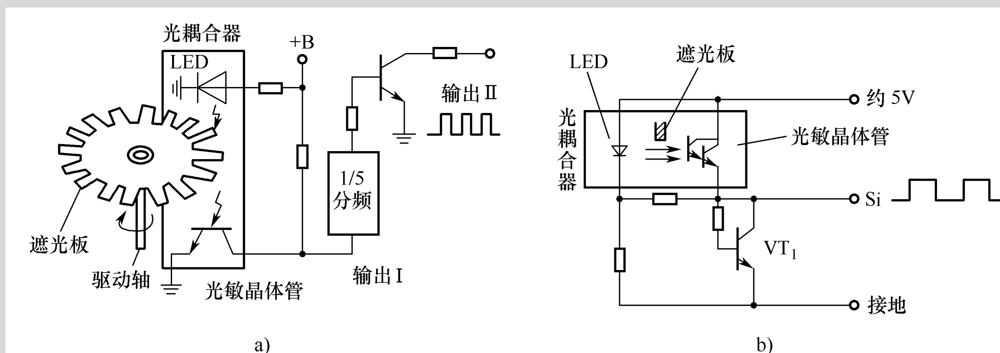


图2-26　光电式车速传感器的工作原理

a）传感器工作原理　b）传感器内部电路

② 磁阻式车辆速度传感器。磁阻式车速传感器的安装位置及结构如图2-27所示，它安装在变速器壳体上，直接由变速齿轮驱动。磁阻式车速传感器主要由两部分组成：第一部分是磁环，磁环由数十块永磁磁极交错排列成环状，各个磁极的磁场方向沿磁环半径方向分布；第二部分是装有磁阻元件（MRE）的（集成元件）电路板。

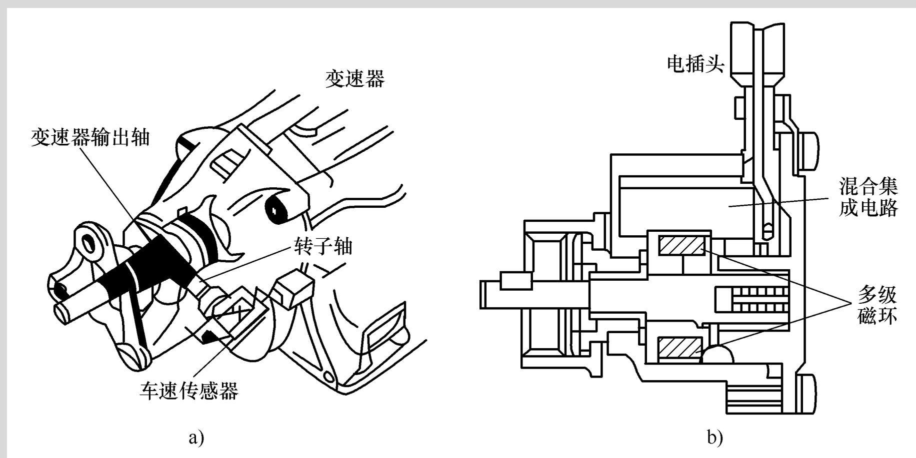


图2-27　磁阻式车速传感器

a）磁阻式传感器安装位置　b）磁阻式传感器结构

当齿轮驱动传感器轴旋转时，与轴连在一起的多极磁环也同时旋转，磁环旋转引起的磁通变化，使集成电路内的磁阻元件的阻值发生变化。当流向磁阻元件（MRE）的电流方向与磁力线方向平行时，其电阻值最大；电流方向与磁力线方向垂直时，其电阻值最小。在磁



环上，N 极与 S 极交替排列，随着磁环的回转使其在磁力线方向不断地变化，磁通量的变化与磁环转速成正比，这样利用磁阻元件的阻值变化就可以检测出磁环旋转引起的磁通变化，如图 2-28 所示。阻值的变化引起其上电压的变化，将电压的变化输入到比较器中进行比较，再由比较器输出信号控制晶体管的导通和截止，这样就可以检测出车速，如图 2-29 所示。

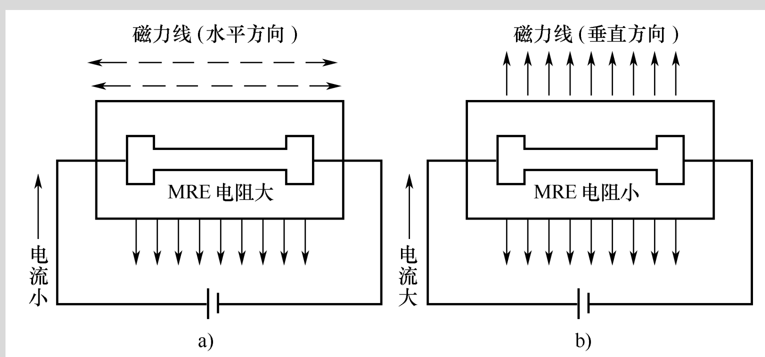


图 2-28　磁阻元件（MRE）的性质

a）电流方向与磁力线平行　b）电流方向与磁力线垂直

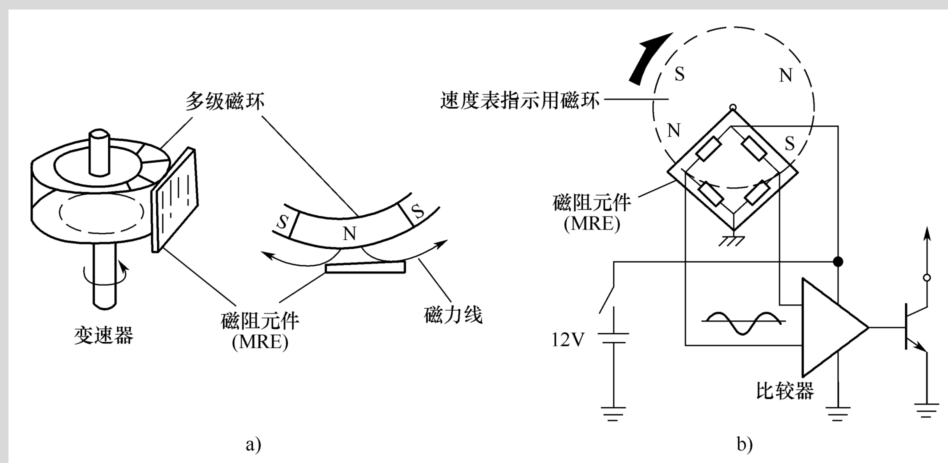


图 2-29　磁阻元件式车速传感器工作原理及电路

a）工作原理　b）电路图

3）机油压力传感器。**机油压力传感器实时监测发动机机油压力（温度），电控单元将其电压信号转换成压力值，用于发动机保护系统。**该传感器安装在发动机机体上。常见有 3 端子机油压力传感器和 4 端子机油压力/温度传感器两种，如图 2-30 所示。

机油压力传感器通常通过螺纹拧入缸体的油道内，可变电阻式传感器内有一个可变电阻，其滑动臂与膜片连接，当油压增高时，压力通过润滑油道接口推动膜片弯曲，膜片推动滑动臂移动到低电阻位置，输出电流大；油压降低时，情况正好相反。工作原理示意如图 2-31 所示。

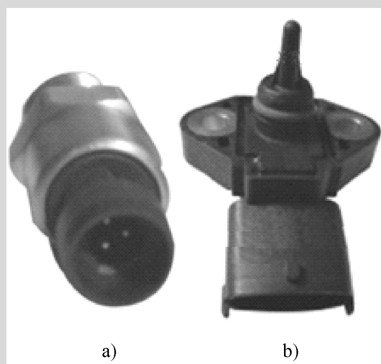


图 2-30　机油压力传感器

a）3 端子　b）4 端子

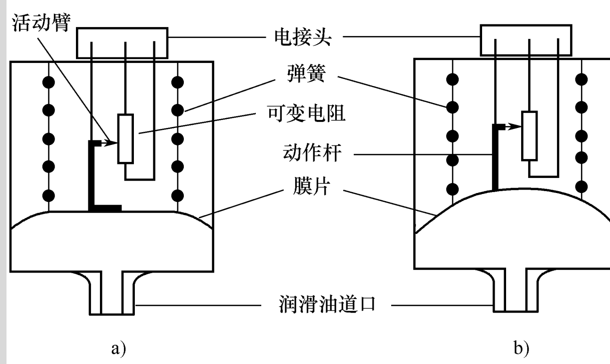


图 2-31　机油压力传感器内部原理

a）油压下降时　b）油压升高时

4）燃油含水传感器。**燃油含水传感器安装在 OEM 水分离器内，当积水达到某一设定体积时，燃油含水传感器将信号送给电控单元，在点亮故障指示灯的同时，对发动机进行保护控制。**常见的燃油含水传感器为电接柱式的，当积水淹没传感器电接柱时，通过水在两电接柱之间形成闭合回路；反之，两电接柱间为断路状态，如图 2-32 所示。

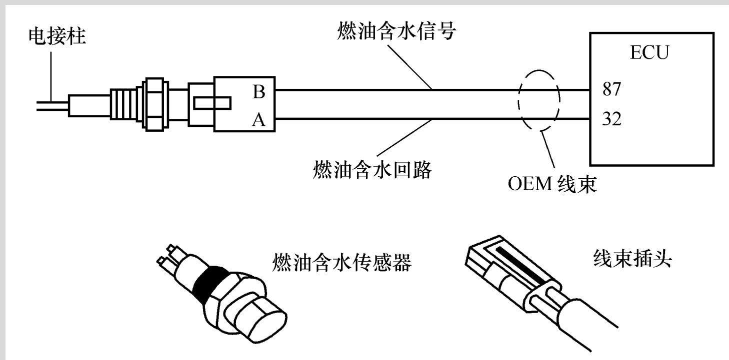


图 2-32　燃油含水传感器电路

5）氧传感器。自从制定了汽车排放法规之后，对环境和排放的要求就不断强化，与此同时，为了适应这个不断强化的法规要求，首先在汽油车上开始采用三元催化转化剂作为排气净化装置。为了充分发挥三元催化转化剂的最佳净化特性，需要将空燃比控制在理论空燃比附近的很窄范围以内，如图 2-33 所示。

为了检测理论空燃比，在排气管中设置了氧传感器，由此检测实际空燃比相对理论空燃比是浓还是稀，以此作为发动机闭环控制的反馈信号，发动机电脑据此信号及时对燃油喷油量进行微量修正。目前已实际应用的氧传感器有二氧化锆（ZrO_2）和二氧化钛两种氧传感器。

① 二氧化锆传感器。这种氧传感器是用得最多的一种。图 2-34 为氧传感器外形和结构。在试管状的二氧化锆元件内外两面上设置白金电极，并在电极外侧涂上陶瓷以保护电极。在元件内侧引入氧浓度高的空气，在其外侧引入氧浓度低的排气。



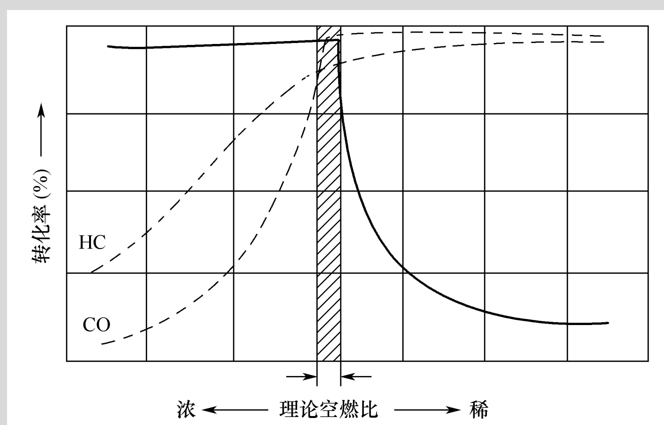


图 2-33　三元催化转化剂的净化作用

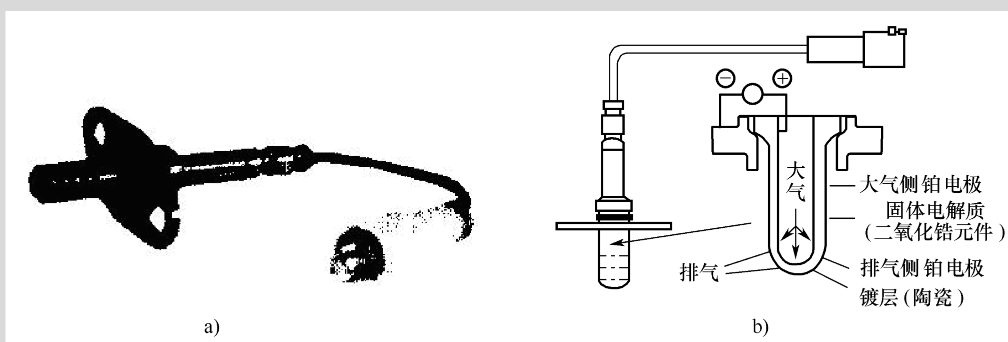


图 2-34　氧传感器的外形和结构

a）外观　b）结构

二氧化锆元件在高温下具有在其内外表面氧浓度差的情况下产生电动势的性质。如图 2-35 所示，在传感器的大气侧和排气侧，氧的浓度即氧的分压不同。氧离子从氧浓度高的大气侧向氧浓度低的排气侧移动。结果在两电极之间产生服从 Nernst 公式的电动势。

$$E = \frac{RT}{4F}\ln\frac{P''_{O2}}{P_{O2}}$$

式中　E——电动势（V）；

R——气体常数［J/(mol·K)］；

T——绝对温度（K）；

F——法拉第常数（C/mol）；

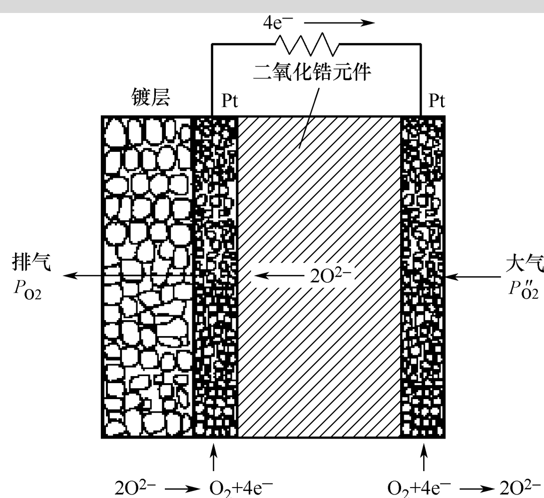


图 2-35　氧传感器的工作原理

P''_{O2}和P_{O2}——大气和排气中氧分压（Pa）。

由上式可见，电动势E与氧分压的对数成正比。氧传感器内外表面的氧的浓度差越大，所产生的电动势就越大。

但是，即使在比理论混合气浓的状态下燃烧，在排气中仍存在若干氧气，所以产生不了足够的电动势（图 2-36a）。

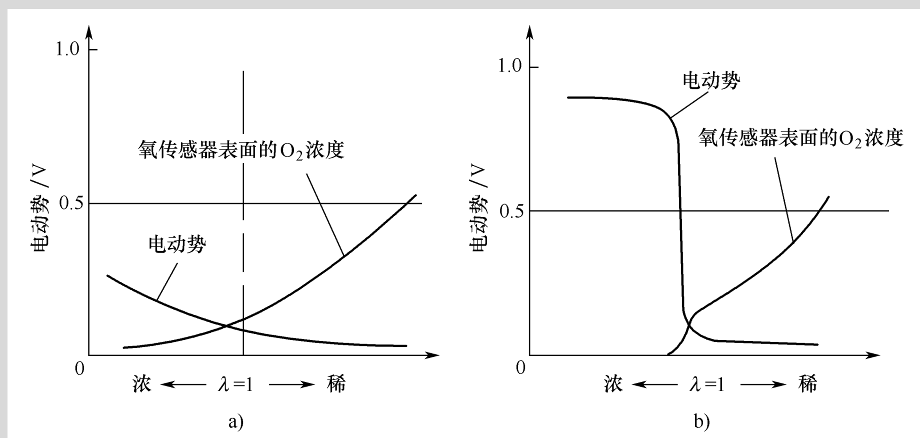


图 2-36　氧传感器的输出特性

由于在接近理论空燃比范围内所产生的电动势变化很小，所以很难通过检测此电动势来准确地检测出理论空燃比。于是，就利用具有催化作用的白金做电极，使电动势在理论空燃比附近有很大的变化。

浓混合气燃烧的排气与白金接触时，在白金的催化作用下，排气中所残余的低浓度的氧与排气中的 CO 及 HC 发生反应，使得白金表面上几乎没有氧，故在氧传感器表面上氧的浓度差变得非常大，可产生大约 1V 的电动势。

当稀混合气燃烧时，由于在排气中存在高浓度的氧和低浓度的 CO，所以，即使 O_2 和 CO 发生反应，也仍存在多余的氧，故氧的浓度差很小，几乎不产生电动势（图 2-36b）。

不过，上述特性是在比较高的温度条件下的特性。当温度低时，氧传感器的特性将产生很大的变化。所以，为了获得稳定的输出信息，将氧传感器安装在温度尽可能高的位置，而在二氧化锆元件内侧设置陶瓷加热器，使元件始终保持在高温状态（图 2-37）。

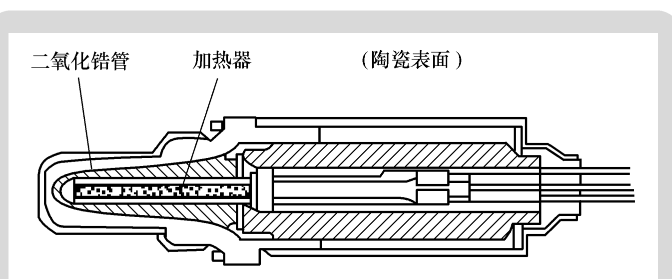


图 2-37　带加热器的氧传感器

② 二氧化钛氧传感器。这种氧传感器的工作原理与二氧化锆氧传感器有很大的差别。二氧化钛是导电体，它根据其周围氧分压不同被氧化和还原，结果其电阻发生变化。二氧化钛氧传感器就是利用这种变化来测量的，这种氧传感器的电阻 R 随氧分压的变化用下式



表达。

$$R = A\exp\left(\frac{-E}{RT}\right)P_{O2}^{L/m}$$

式中　A——常数；

E——活化能（J）；

L/m——与晶格缺陷性质有关的指数；

P_{O2}——氧的分压；

R——玻尔兹曼常数（J/K）；

T——绝对温度（K）。

在理论空燃比附近，氧的分压 P_{O2} 按阶梯形变化。所以，通过测定氧分压即传感器的电阻变化，就可测出实际混合气的空燃比是否偏离理论空燃比。图 2-38a 所示为这种氧传感器的构造，在陶瓷绝缘体的前端上设置二氧化钛元件。

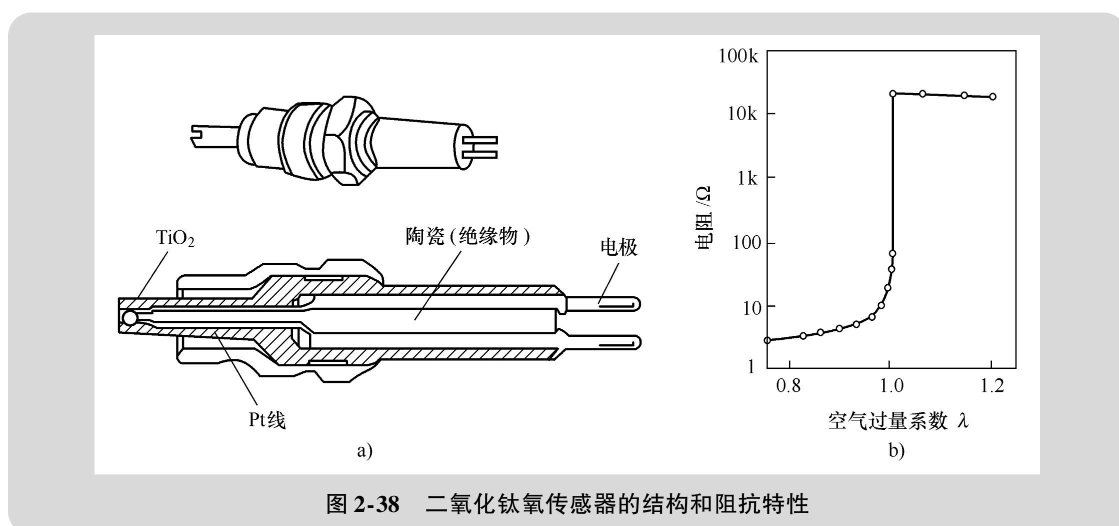


图 2-38　二氧化钛氧传感器的结构和阻抗特性

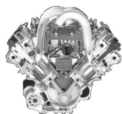
图 2-38b 所示为这种传感器的电阻随空燃比变化的特性。从图中可以看出，此传感器电阻在理论空燃比附近急剧变化。

二氧化钛氧传感器与二氧化锆氧传感器相比，具有结构简单，体积小，成本低等优点，但缺点是其电阻值随温度变化大。所以，需要增设温度修正电路，或者内设加热器使特性相对稳定，以便在高温下也能进行检测。

注意

氧传感器一旦出现故障，将使电子燃油喷射系统的电脑不能得到排气管中氧浓度的信息，因而不能对空燃比进行反馈控制，会使发动机油耗和排气污染增加，发动机出现怠速不稳、缺火、喘振、温度过高和动力下降等故障现象。

6）爆燃传感器。发动机电子控制系统中已广泛应用了点火时刻闭环控制的方法，有效地抑制了发动机爆燃现象的发生。它安装在气缸体上检测发动机爆燃情况，**向发动机电脑提供信号，电脑对点火提前角进行修正，是点火闭环控制的反馈元件**。常见有压电式、磁致伸缩式等。



① 磁致伸缩式爆燃传感器。振动检出型爆燃传感器安装在发动机上，旨在将发动机振动频率转换成电压信号，以检测爆燃强度。当发动机发生设定的爆燃强度时，爆燃传感器输出最大的电压信号用以表示发动机由于爆燃而产生使机体异常振动的频率。应用最早的是磁致伸缩式爆燃传感器。图 2-39a 为该传感器的结构。高镍合金组成的磁心外侧设有永久磁铁，在其周围缠绕着感应线圈，磁心受振偏移致使感应线圈内磁力线发生变化，依据电磁感应原理，通过线圈的磁通变化时，线圈将产生感应电动势，此电动势即为爆燃传感器的输出电压信号。输出电压信号的大小与发动机振动的频率有关，当传感器固有振荡频率于设定爆燃强度时，发动机的振动频率产生谐振，传感器将输出最大电压信号（图 2-39b）。

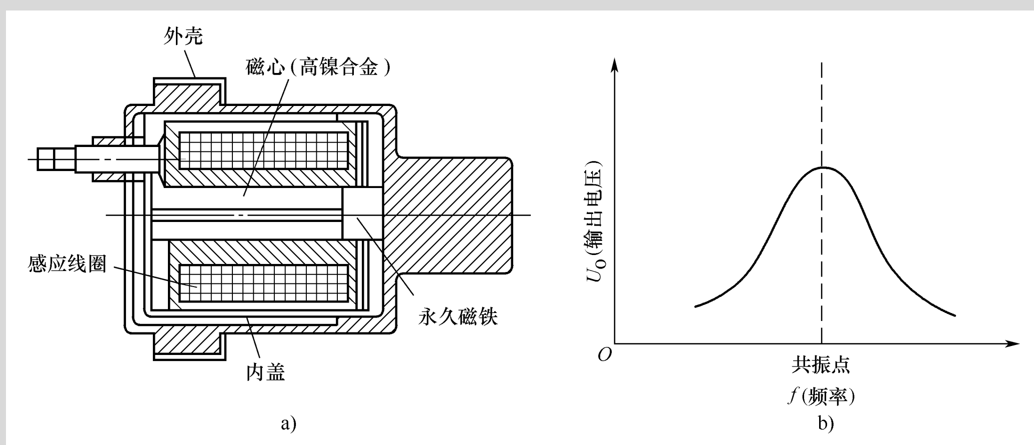


图 2-39　爆燃传感器结构与输出特性

a）磁致伸缩式爆燃传感器结构　b）磁致伸缩式爆燃传感器的输出特性

② 共振型压电式爆燃传感器。此种形式的爆燃传感器是利用产生爆燃时的发动机振动频率，与传感器本身的固有频率相符合，而产生共振现象，用以检测爆燃是否发生。该传感器在爆燃时的输出电压比非共振（无爆燃）时的输出电压高得多，因此无需使用滤波器，即可判别有无爆燃产生。

图 2-40 所示为共振型压电式爆燃传感器的结构，压电元件紧密地贴合在振荡片上，振荡片则固定在传感器的基座上。振荡片随发动机振动而振荡，波及压电元件，使其变形而产生电压信号。当发动机爆燃时的振动频率与振荡片的固有频率相符合时，振荡片产生共振，此时压电元件将产生最大的电压信号（图 2-41）。

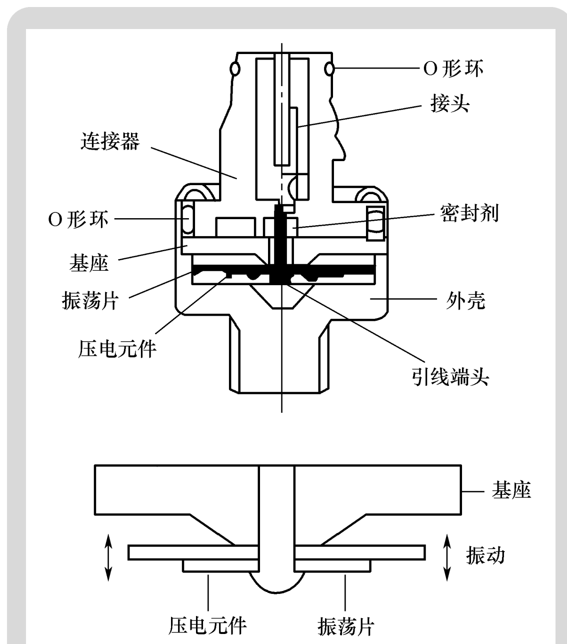


图 2-40　共振型压电式爆燃传感器



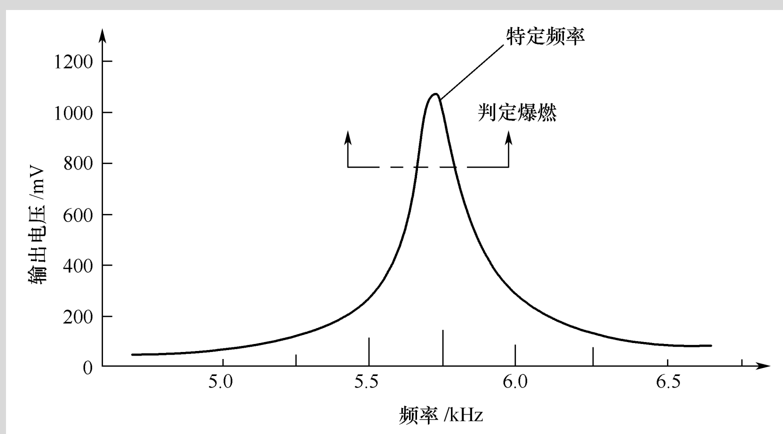


图 2-41　共振型压电式爆燃传感器输出电压与频率的关系

③ 非共振型压电式爆燃传感器。非共振型压电式爆燃传感器是以接收加速度信号的形式，来判断爆燃是否产生的。图2-42为这种传感器的结构。它由两个压电元件同极性相向对接，配重将加速度变换成作用于压电元件上的压力，所用的配重由一根螺钉固定于壳体上，输出电压由这两个压电元件的中央取出，构造简单，制造时不需调整。

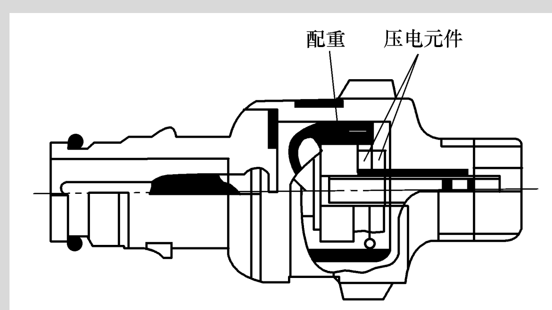


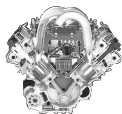
图 2-42　非共振型压电式爆燃传感器

发动机振动时，安装在发动机缸体上的爆燃传感器内部配重因受振动的影响，而产生加速度，因此，在压电元件上就会受到加速时惯性力的作用，产生电压信号。

在爆燃发生时的频率及其附近，此种传感器产生的输出电压不会很大，不像磁致伸缩式爆燃传感器在爆燃频率附近产生一个较高的输出电压，用以判断爆燃的产生。

图 2-43 为非共振型压电式爆燃传感器输出电压与频率的关系。因此，必须将反映发动机振动频率的输出电压信号送至识别爆燃的滤波器中，判别是否有爆燃信号产生。传感器的感测频率范围设计成由零至数十千赫兹，可检测具有很宽频带的发动机振动频率。用于不同发动机上时，只需将滤波器的过滤频率调整即可使用，而不需要更换传感器，此为非共振型压电式爆燃传感器的突出优点。

振动检出型爆燃传感器输出信号是随发动机振动频率变化而变化的电压脉冲信号，信号的频率与发动机振动频率一致，其电压幅值与振动频率有关。对于共振型而言，发动机爆燃（共振）时，输出电压最大；而对非共振型而言，发动机产生爆燃时，传感器输出电压无明显增大，爆燃是否发生是靠滤波器检出传感器输出信号中有无爆燃频率段来判别的。共振型和非共振型传感器输出波形的比较如图 2-44 所示。



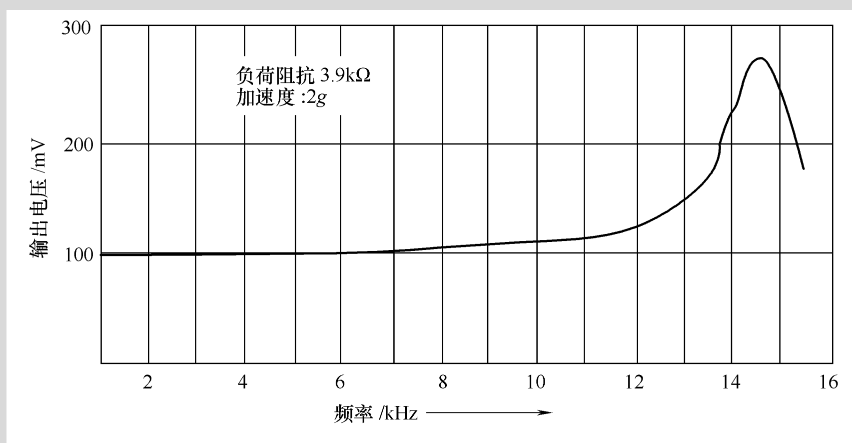


图 2-43　非共振型压电式爆燃传感器输出电压与频率的关系

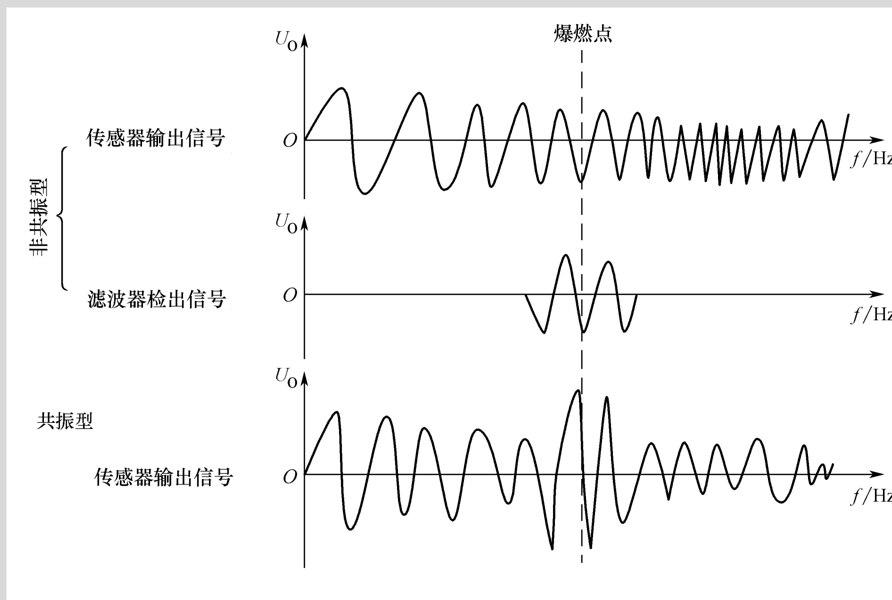


图 2-44　共振型和非共振型传感器输出波形的比较

2. 开关信号

（1）离合器开关　**离合器开关一般用于起动系统，其主要作用是防止起动时有挂档现象，导致起动时车辆移动，造成不安全因素。**所以在起动控制电路中串联离合器开关（常开型或常闭型），起动时迫使驾驶人踩下离合器踏板，使离合器开关接通或断开，方能接通起动机控制电路；除此之外，还有将离合器开关的信号送给发动机电控单元的功能。常见有常闭型离合器开关，发动机起动时，必须将离合器踩下，方可起动，同样达到了安全起动的目的。

（2）空档开关　**空档开关设置的目的同离合器开关一样，都是防止发动机起动时带档起动。**一般采用常闭型开关，可以串接在起动机控制电路当中，也可以作为发动机电控单元



的一个信号，只有在空档时才能保证起动机电路的正常工作。

（3）制动器开关　**制动器开关除了踩下制动踏板时点亮制动灯之外，对于发动机电控系统则是作为一种信号，当电控单元得到制动信号时，会对喷油量进行控制，以利于达到车辆制动的目的。**

（4）空调开关　空调系统在车辆电气设备当中功率是比较大的，大多数空调压缩机都是由车辆发动机传动带驱动的（除了独立空调系统），对发动机的负荷影响很大。**在空调系统工作的同时必须将空调请求信号送给发动机电控单元，以提高发动机的转速，保证发动机能够稳定工作。**有的车辆将空调压缩机的工作直接由发动机电控单元控制，更有利于电控系统的综合控制。

（5）巡航开关　在装备有自动巡航功能的车辆上会有巡航开关，一般有巡航主开关，巡航设置、巡航复位、巡航解除开关或按钮，对于发动机电控系统都是作为请求信号，发动机电控单元根据输入的不同信号，控制发动机输出不同的功率，达到驾驶人理想的恒定车速。

（6）排气制动开关　具有排气制动功能的车辆装有排气制动开关，当使用排气制动功能时，驾驶人需将排气制动开关接通（一般为常开型开关），把排气制动的请求信号送给发动机电控单元，由发动机电控单元对排气制动继电器或电磁阀进行控制，才能实现排气制动的功能。

（7）远程油门开关　远程油门开关有时也叫远程油门位置传感器，一般用于工程机械，即车辆静止状态时，驾驶人离开驾驶室仍能对发动机进行控制。远程油门开关一般为旋钮式，有些与加速踏板位置传感器并联，有些则是独立的装置。它将控制信号送给发动机电控单元，大多数为电位计形式，其电路如图 2-45 所示。

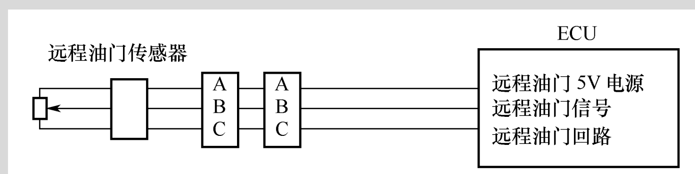


图 2-45　远程油门位置传感器电路

（8）诊断开关　诊断开关主要用于发动机电控系统的自诊断系统。当发动机电控系统出现故障，位于仪表板上的故障指示灯点亮时，可以通过诊断开关进行简单的故障查寻，按照正确的操作方法接通诊断开关，观察故障指示灯的闪烁情况，判断故障的大致部位。该指示灯闪烁的故障码不同于诊断仪的故障码，需要查寻各生产厂家的故障码含义。诊断开关一般位于仪表台上或电气检查盒内。

（9）省油开关　多态开关也称多功率省油开关，能根据整车的使用工况通过限制发动机的转矩和转速，从而使发动机运行在指定的转矩、转速区域中，即发动机输出的功率限定在指定的功率范围内，可降低整车燃油消耗。

在整车装载不同时，可以使用多态开关达到节油 1% ~2% 的目的，同时还可以提高发动机使用寿命。

多态开关分为 3 档，如图 2-46 所示。

发动机输出功率分为最大功率（重载）Ⅲ档，中档功率（中载）Ⅱ档，最小功率（轻载）Ⅰ档。有时 0 档为重载、Ⅰ档为中载、Ⅱ档为轻载。

多态开关有两根导线均与发动机电脑连接，开关内通过电阻器来改变不同的档位。一般情况下，在开关脱开线束时测量，空载 9.8kΩ，中载 4.2kΩ，重载 1.5kΩ。

在多态开关与线束连接正常的情况下，用万用表电压档测量两线之间，空载 2.9V，中载 1.9V，重载 0.9V。

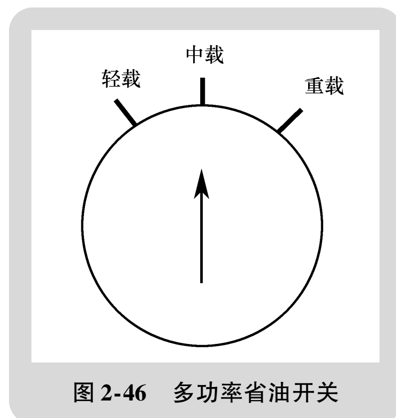


图 2-46　多功率省油开关

二、电子控制器

1. 电子控制器的组成

电子控制器常用 ECU（Electronic Control Unit）表示，有的用 ECM、EEC 等表示，有些则用 PCM 表示（发动机和变速器共用）。**ECU 的作用是接收来自各种传感器、开关的信息，经过快速处理、运算、分析和判断后，适时地输出控制指令，控制执行器动作，借以控制发动机。** ECU 的核心部件是微型计算机，即微机（电脑），所以有时简单地将 ECU 称为微机或电脑。

发动机微机控制装置的基本结构如图 2-47 所示，主要由输入回路、A/D 转换器、微型计算机和输出回路组成。

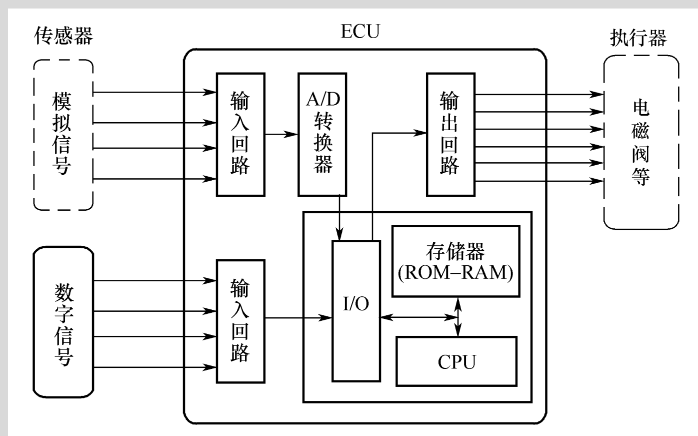


图 2-47　电子控制装置的基本结构

（1）输入回路　由于微机的中央处理器（CPU）只能对一些规定的信号进行处理，所以从传感器传递的输入信号一般都要经过输入回路滤波、整形、放大等处理后才能被处理器接收并进行运算控制。输入回路的作用示意如图 2-48 所示。

（2）A/D 转换器　从传感器输出的信号有两种：一种是模拟信号，如进气压力传感器（热膜式空气流量传感器）输出的信号；另一种是数字信号，如霍尔式传感器输出的信号，



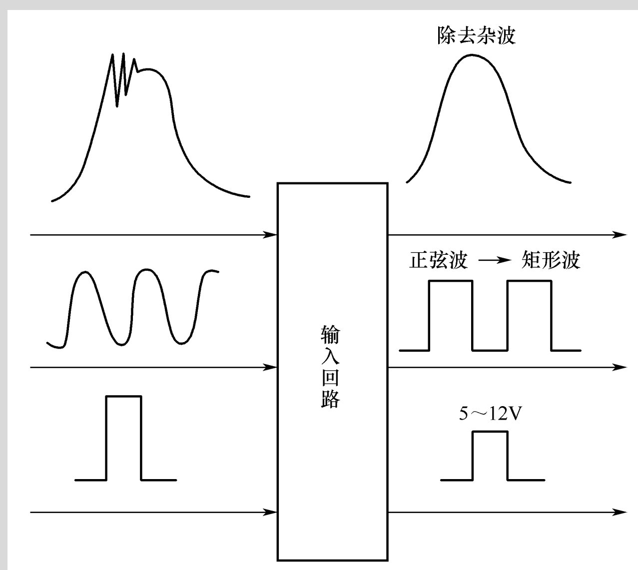


图 2-48　输入回路的作用

如图 2-49 所示。这些信号首先通过输入回路，其中数字信号直接进入计算机，模拟信号则由 A/D 转换器转换成数字信号之后再输入计算机。因为计算机只能处理数字信号，所以对模拟信号必须进行转换，将输入的模拟信号转换成数字信号后，再输入到计算机中。

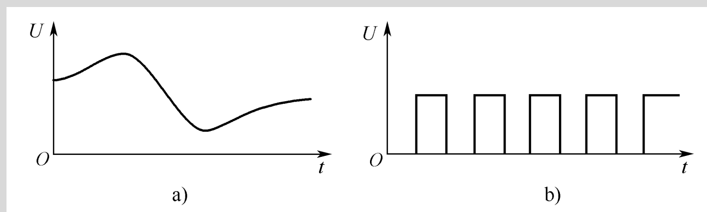


图 2-49　传感器输出信号的种类

a）模拟信号　b）数字信号

如空气流量传感器输入的为 0 ~ 5V 的模拟电压信号，当输入电平与 A/D 转换器设定量程相同时，则模拟信号经 A/D 转换器转换成数字量后，才能输入微机，如图 2-50 所示。

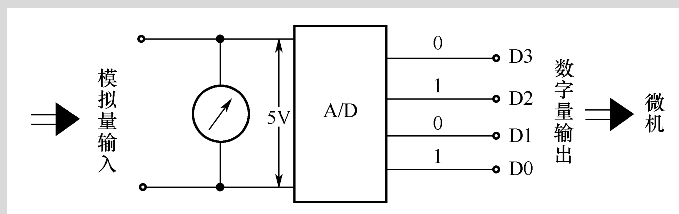
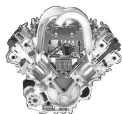


图 2-50　A/D 转换器工作过程示意图

（3）微型计算机　微机的功能是根据发动机工作的需要，把各种传感器送来的信号用



内存的程序（微机处理的程序）和数据进行运算处理，并把处理结果，如燃油喷射控制信号等送往输出回路。微型计算机主要由中央处理器（CPU）、存储器、输入/输出（I/O）接口电路四部分组成，如图 2-51 所示。

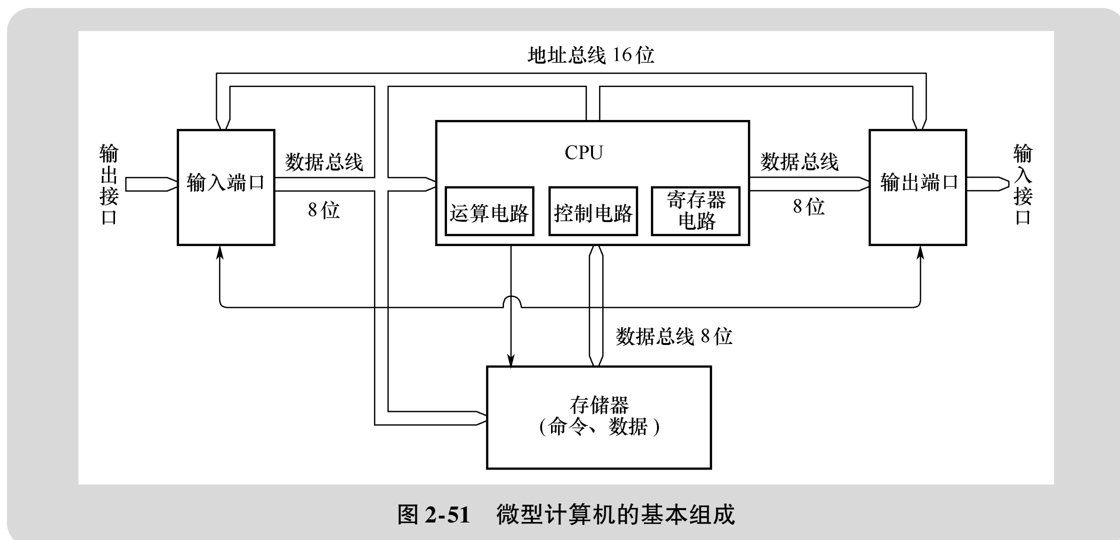


图 2-51　微型计算机的基本组成

① 中央处理器。中央处理器（CPU）是计算机的核心，具有数据处理的能力，用来执行预先写入在存储器里的程序。即按照程序的顺序，从存储器中读取执行命令并译码，并从输入通道或存储通道读取运算对象。CPU 能进行数据运算和逻辑运算，再将其运算结果储存到存储器，或通过输出通道，从而驱动转换执行装置。

② 存储器。存储器是用来储存程序指令和数据的部件。它由随机存储器（RAM）和只读存储器（ROM）两部分组成。

随机存储器（RAM）中的信息既可随时写入或读出，也可随时改写，改写时不必擦除原有内容，在计算机中只具有暂时存储信息的作用，当切断电源后，数据全部消失。因此，为了能较长期地保存一些存入 RAM 中的数据，如故障码、空燃比学习值等，一般这些 RAM 都用专用的后备电路与蓄电池直接连接，使它不受点火开关控制，但当后备专用电路断开或蓄电池的电源线拔掉时，存入 RAM 中的数据也会消失。

只读存储器（ROM）中的数据一旦写入就不可更改，只能读出。实质上，ROM 是一次性写入、可随时读出的存储器。写入 ROM 中的信息是在脱机状态下进行的，所记录的信息不会由于断电而被破坏，也不会由于断电而消失。只读存储器用来存储制造厂家编制的控制程序、运行程序和原始实验数据（如最佳喷油提前角的三维脉谱图数据和最佳混合气的喷油三维脉谱图数据等），即使点火开关断开或切断电源，ROM 中存储的这些信息也不会丢失，可以长期保存。现在随着计算机技术的飞速发展，又相继开发了 PROM、EPROM 和 EEPROM 等几种新型的只读存储器，这些存储器通过特定操作可以改写存储内容。

③ 输入/输出装置。输入/输出装置一般称为 I/O 接口。它的作用是根据中央处理器的命令，在外部传感器和执行器之间执行数据传送任务，是微机与外界进行信息交换的纽带。

④ 总线。总线是一束传递信息的内部连线。在微机系统中，中央处理器，存储器与输入、输出口，通过传递信息的总线连接起来，它们之间的信息交换均要通过总线进行。总线



按传递信息的类别可分为数据总线、地址总线与控制总线三种，如图 2-52 所示。

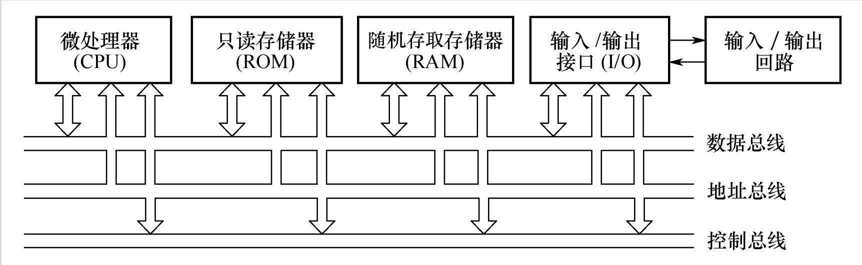


图 2-52　微机系统总线

数据总线：主要用于传递数据和指令。

地址总线：用于传递地址码。在微机总线上，各器件之间的通信，主要靠地址码准确地进行联系。例如，需要对存储器内某单元进行存储或读出数据时，必须先将该单元的地址码送到地址总线上，然后再送出写入或读出的指令，才能完成操作。

控制总线：CPU 可以通过它随时掌握各器件的状态，并根据需要随时向有关器件发出控制指令。

（4）输出回路　微机输出的是数字信号，而且输出电流很小，不能驱动执行器工作，需要输出电路将其转换成可以驱动执行器工作的控制信号，如喷油器、电磁阀、继电器等。图 2-53 所示为喷油器驱动信号示意图。

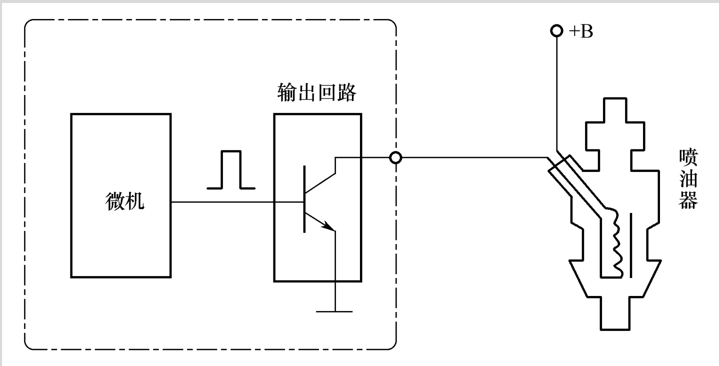
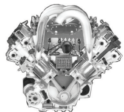


图 2-53　控制喷油器的输出回路

控制输出回路中，通过功率管（实际电子电路中不只是一个晶体管）的导通和截止，为喷油器提供一定宽度的脉冲驱动信号。在顺序喷射的驱动回路中，还应有缸序判别与喷油定时两个定量功能，以达到喷油正时和精确地控制喷油量的目的；有的还有保护、监测等功能。

目前的发动机电子控制器除上述基本装置外，还把电源装置、电磁干扰保护装置、自检装置和后备系统等组装在一起，装在一个盒子里，结构十分紧凑，使控制器的工作相当可靠。随着发动机性能的不断提高，要求控制的对象不断增多，加之微机芯片的功能不断增加，发动机电子控制器的性能会更加先进，控制功能会越来越强。



2. 电子控制系统的工作过程

发动机起动时，电子控制器进入工作状态，某些程序或步骤从 ROM 中取出，进入 CPU。这些程序可以是控制燃油喷射、控制怠速等信息。通过 CPU 的控制，一个个指令逐个地进行循环。

执行程序过程中，所需的发动机信息，来自各个传感器，从传感器来的信号，首先进入输入回路，对其信号进行处理。如果是数字信号，根据 CPU 的安排，经 I/O 接口直接进入微机；如果是模拟信号，还要经过 A/D 转换，转换成数字信号后，才能经 I/O 接口进入微机。大多数信息暂时存储在 RAM 内，根据指令再从 RAM 送至 CPU。下一步是将存储在 ROM（或 PROM）中的参考数据引入 CPU，使输入传感器的信息与之进行比较。对来自有关传感器的每一个信号，依次取样，并与参考数据进行比较。CPU 对这些数据比较运算后，做出决定并发出输出指令信号，经 I/O 接口，必要的信号还经 D/A 转换器转变成模拟信号，最后经输出回路去控制执行器动作。如是喷油器驱动信号，则控制喷油正时和喷油脉宽，完成控制喷油器功能。

发动机工作时，微机的运行速度是相当快的，如喷油正时，1s 可以修正上百次，因此其控制精度是相当高的。

简单地讲，电子控制器是按照预先设计的程序，根据安装在车辆和发动机上的各种传感器和开关传输的信息，包括模拟信号和数字信号，进行计算、比较、分析，完成各种处理，求出最佳喷油时间和最合适的喷油量，并且计算出在什么时刻、在多长的时间范围内向执行器发出动作指令，执行各种预定的控制功能，从而精确控制发动机的工作过程。

由于发动机的工作是高速变化的，而且要求计算精度高、处理速度快，因此 ECU 的性能应当随发动机技术的发展而发展，微处理器的内存越来越大，信息处理能力越来越高。

图 2-54 是日本电装公司 ECD—U2 系统与五十铃汽车公司 6HK1—TC 柴油机实际配用的 ECU。由图可见，当时所采用的 ECU 的接插座有 120 针。

根据博世公司介绍，在 ECU 方面，10 年前使用的是 8 位的控制器，而现在已用新一代 32 位控制器，具有相当于 700 万只晶体管的功能，几乎具有相当于 Pentium—Ⅱ处理器的工作能力，处理能力提高了 4 倍，记忆功能增加了 30 倍。10 年前匹配发动机仅需用到 500 个参数，由于功能扩大，而今匹配发动机需要用到 6000 多个参数。因此，接插座在 1989 年时大约要用 55 针，现在轿车电子控制器用的接插座已经用到 154 针。

图 2-55 是轿车柴油机管理系统所使用的信息量。

3. 名词解释

（1）模拟电压信号　**模拟电压信号在一定范围内连续变化，**柴油发动机的电子控制系统，大多数传感器都产生模拟电压信号，如各种温度传感器、转速传感器等，其电压变化都不是突然地升高或降低，而是进行连续的变化。

下面通过使用变阻器来控制 5V 灯泡的亮或暗的例子进行说明，如图 2-56 所示。当变阻器电压低时，少量电流流过灯泡，灯泡亮度暗淡，如图 2-56b 所示，相当于送出弱信号；当变阻器电压高时，大量电流流过灯泡，灯泡变亮，如图 2-56c 所示，相当于送出强信号。



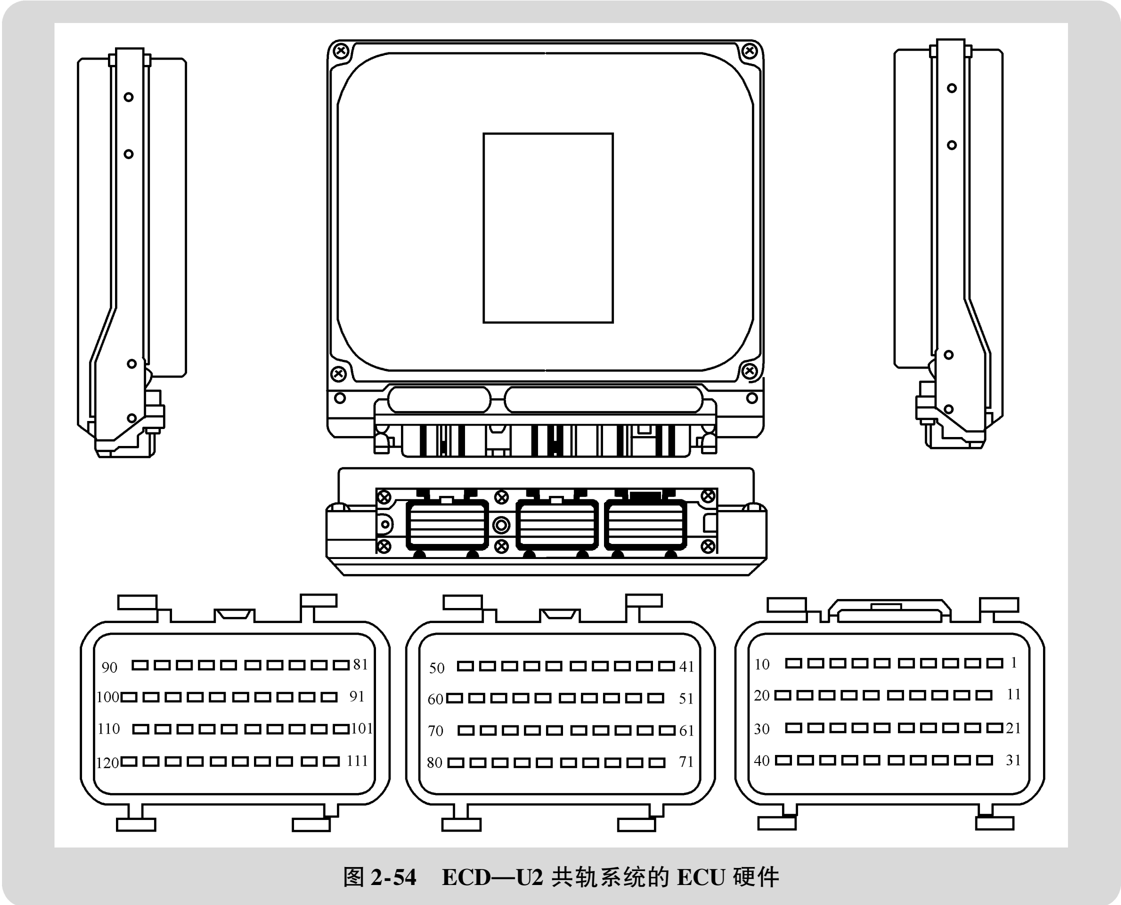


图 2-54　ECD—U2 共轨系统的 ECU 硬件

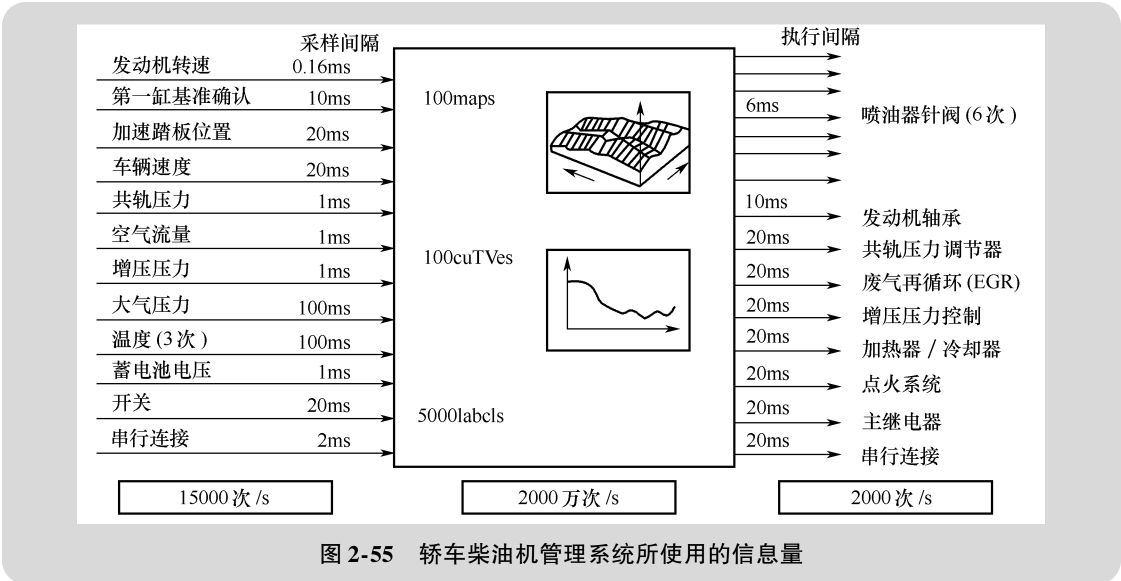


图 2-55　轿车柴油机管理系统所使用的信息量

（2）数字电压信号　将一个普通的 ON/OFF 开关与 5V 灯泡连接，当开关 OFF 时，灯泡电压为 0V，灯泡不亮；当开关 ON 时，5V 电压送至灯泡，灯泡点亮。**由开关送出的信号为**

0V 或 5V，电压信号为低或高，此种电压信号如同数字信号。如图 2-57 所示，当开关迅速 ON、OFF 时，方波数字信号从开关送至灯泡。

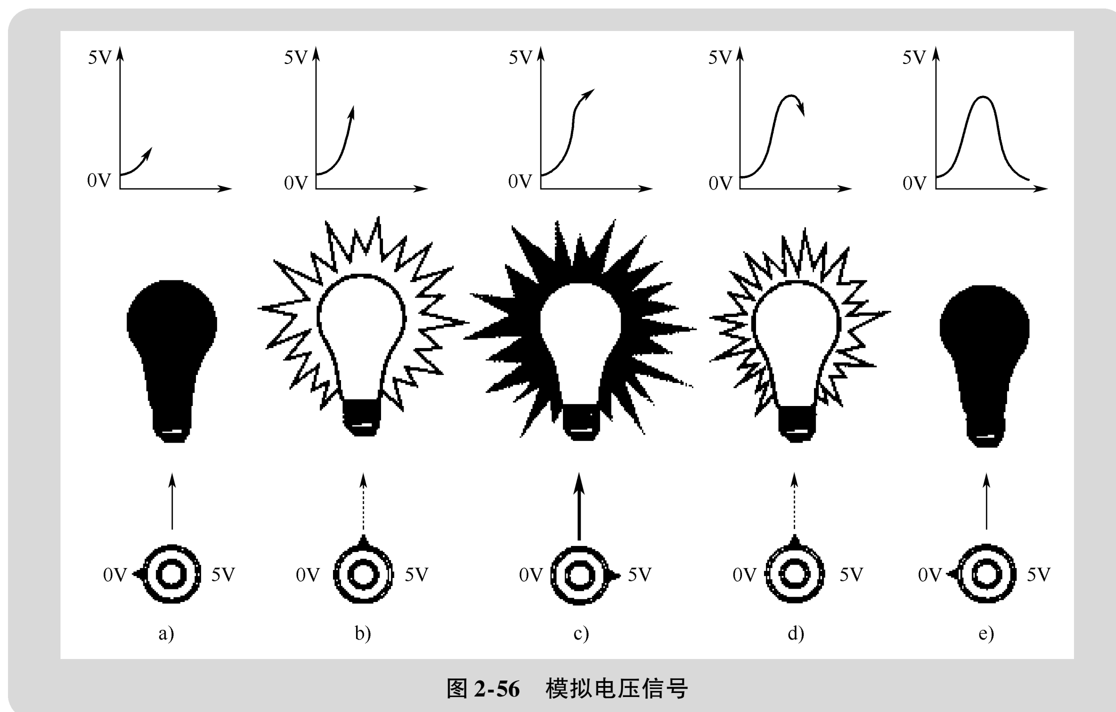


图 2-56　模拟电压信号

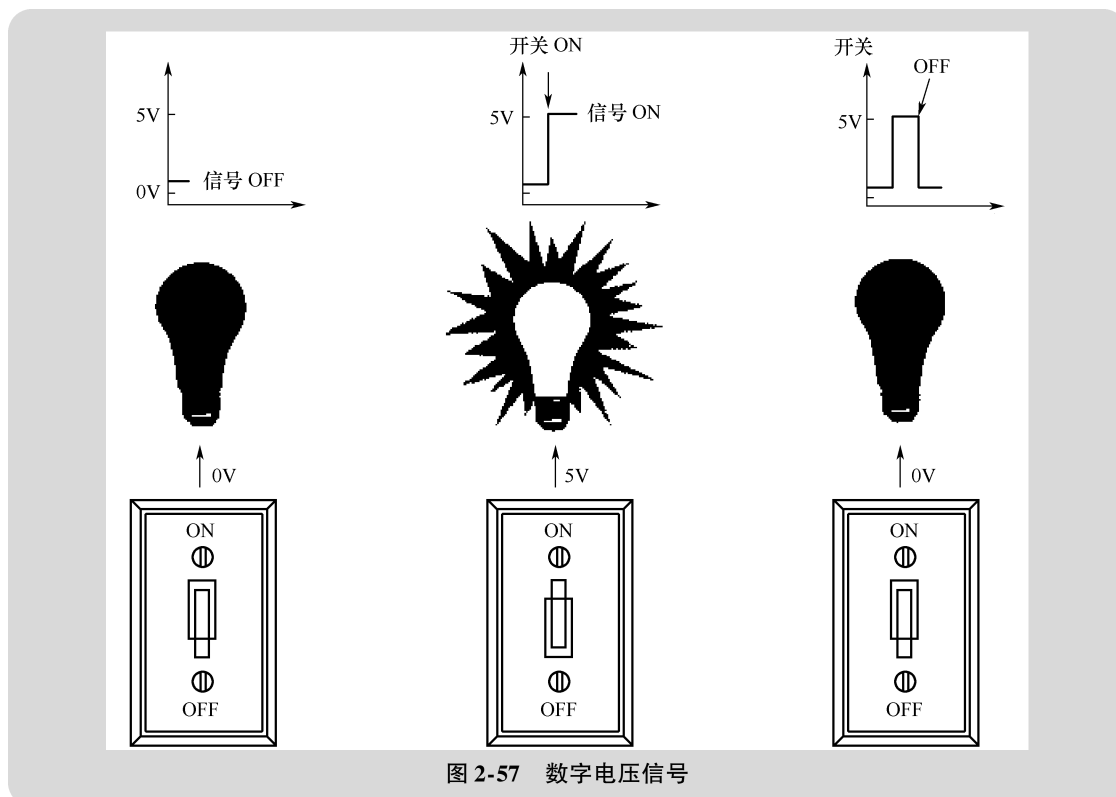


图 2-57　数字电压信号



汽车电脑中的微处理器，包含有大量的微小开关，能在 1s 内产生许多数字电压信号，用来控制各种执行元件动作。微处理器能改变 ON、OFF 时间的长短，以达到精确控制之目的。如图 2-58 所示，ON 时间的宽度，称为脉冲宽度。

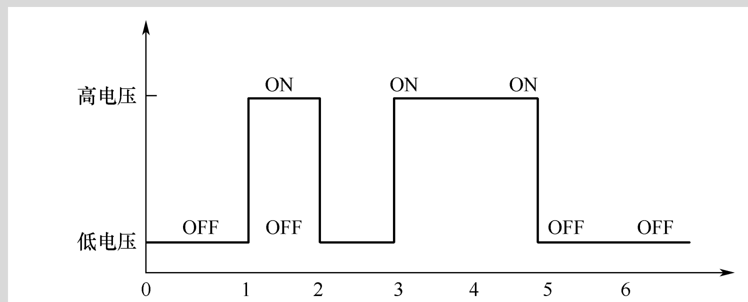


图 2-58 时间可变的数字信号

在低数字信号处指定一个值为 0，而在高数字信号处指定另一个值为 1，即称为二进制码信号，又称为二进位码信号，如图 2-59 所示。汽车的电脑系统，信息是以二进制码形式的数字信号进行传送的。

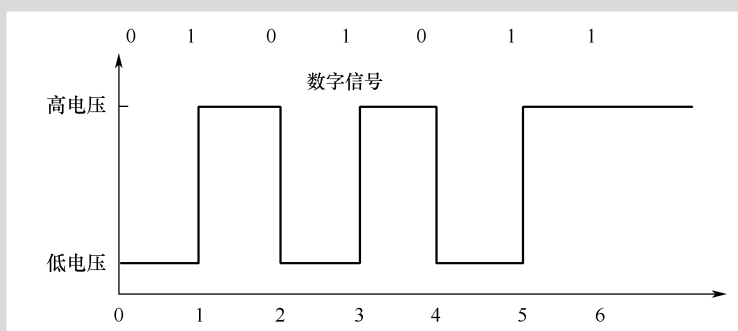


图 2-59 二进制码信号的数字电压信号

（3）占空比 **所谓占空比，是指在一个周期（或循环）的时间中 ON 所占时间之比例。**完成一次循环所需的时间称为周期。

如图 2-60 所示，若 A 为 10ms，B 为 10ms，则每一周期中，ON 的占空比越小，对常闭型的控制阀而言，阀的开度会越小，所能通过的空气或燃油越少；而 ON 的占空比越大，则阀的开度会越大，所能通过的空气或燃油越多。占空比大小的比较如图 2-61 所示。

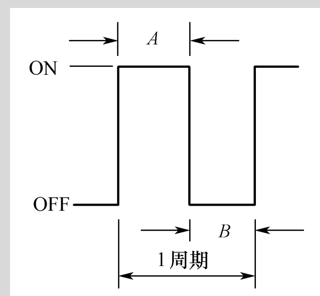


图 2-60 1 周期的工作时间比例

图 2-60 中占空比为

$$\text{占空比} = \frac{A}{A+B} = \frac{10}{10+10} = \frac{10}{20} = 50\%$$

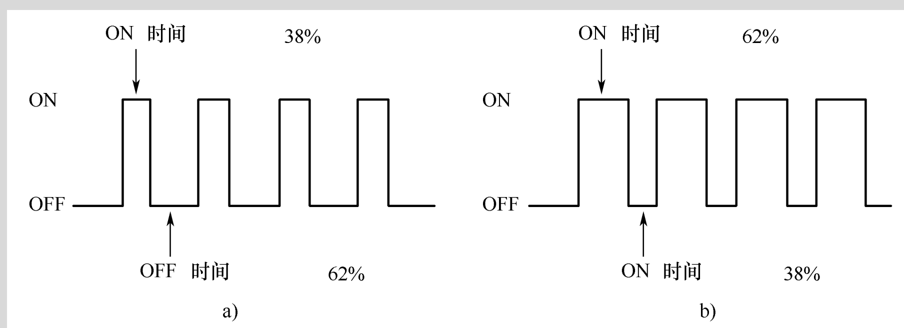


图 2-61　ON 占空比的大小

a）ON 工作时间比例小　b）ON 工作时间比例大

（4）频率　**所谓频率，是指从 ON 到 OFF，或从正到负，脉冲或波形变化速度的快慢，简而言之，即 1s 内所产生的周期数或循环数。**

例如，家庭用电为 220V/50Hz，表示我们所用的为交流电压，每秒有 50 个周期（循环）的连续变化。频率以赫兹（Hz）为单位。

如图 2-62 所示，高频率波形较陡峭，波形会迅速上升及下降，而低频率波形较缓和，波顶与波顶间的距离较大。

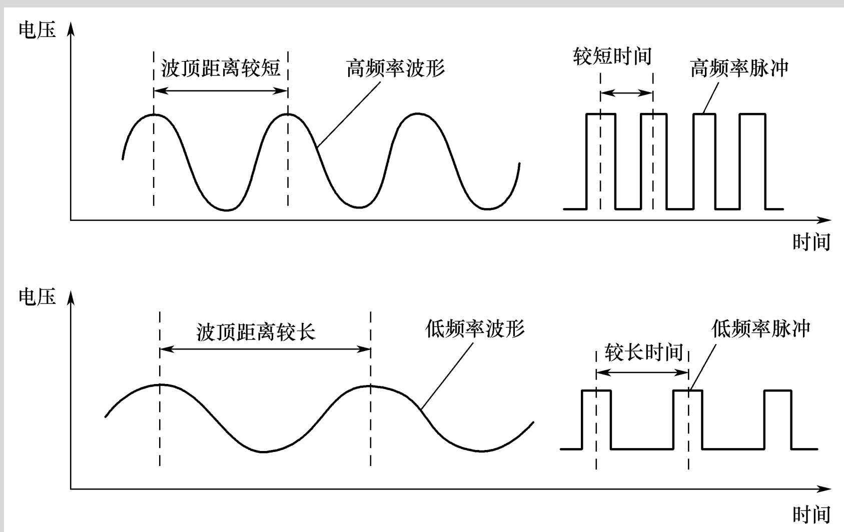


图 2-62　高、低频率波形的差异

（5）脉冲宽度　**在电子技术中，脉冲是指短时间内出现的电压或电流的突然变化。常把不按规律变化、带有突变特点的电压、电流都泛称为脉冲电信号。脉冲宽度是指脉冲持续的时间。**

电磁阀的脉冲宽度以毫秒（ms）计算，如燃油喷射系统的喷油器即是，当燃油量必须增加时，脉冲宽度的毫秒数也随之增加。电磁阀的开度（行程），以时间的长短控制电磁阀的打开时间。

如图 2-63 所示，采用脉冲宽度控制的电磁线圈式喷油器，针阀行程 0.1mm 左右，针阀



打开时间也很短，各种作用状态下，在1.5~10ms之间。脉冲宽度随喷油量而改变，例如，加速时因加速踏板行程加大，空气进入量多，需要更多燃油时，ECU会增加脉冲宽度，也就是ON的时间变长，喷油器打开时间变长，喷油量增加。

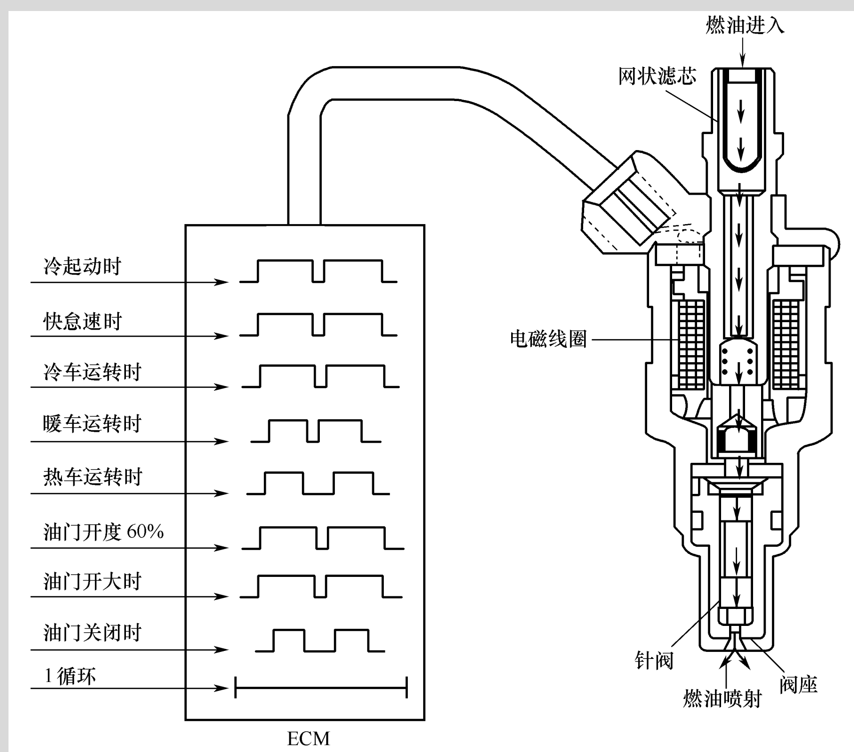


图2-63 ECU送给喷油器不同的脉冲宽度信号

（6）脉冲宽度调节 电磁阀以方波控制，且ON/OFF时间（ON/OFF Time）是可变的，称为脉冲宽度调节。

脉冲宽度调节电磁线圈常用于控制EGR阀，依所需的排气回流率，电脑控制不同的占空比比例。当占空比为0%时，表示EGR阀关闭，无排气回流；当占空比为100%时，EGR阀全开，排气回流量最大（占空比在0~100%间变化）。

（7）脉冲 表示电压或电流的突然增加或减小。一个完整的脉冲必须是能在瞬间升高或降低。

（8）波形 表示电压或电流在较长的时间间隔中增加或减小，而电压在正、负间变换。方波系电压的瞬间变化，如图2-64a所示；而正弦波或模拟波则是

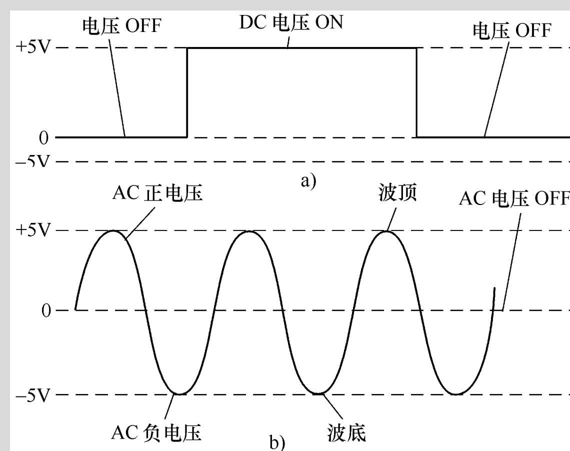


图2-64 方波与正弦波

a）DC电压ON与OFF b）AC交流电压

电压的逐渐变化，如图 2-64b 所示。

三、执行器

发动机电子控制系统的各种控制功能的实现，都是借助于各自的执行器来完成的，因此，根据发动机电子控制系统具备的控制功能强弱不同，各种车型上控制发动机的执行器亦有多有少。**在高压共轨电控系统中，主要的执行器有电控喷油器、燃油计量阀、预热装置、排气制动装置、冷却风扇、起动机、压缩机和各种报警显示等。**

执行器随车型不同数量和种类也不同，按照执行器的构造和作用大体上可分为电磁阀式、继电器式、伺服电动机式和显示器式几种。

1. 电磁阀式

电磁阀型执行器是通过电流流入电磁线圈产生磁力，使活塞或柱塞移动，以打开或关闭阀门，这种类型的执行器在电控系统中应用最多。根据其功能或要求的不同又可分为两种控制方式。

（1）通断控制　**通断控制，即电磁阀的阀门工作在两种状态，即打开或关闭。**对于常开型电磁阀来说，电磁阀处于打开状态时，其电磁线圈是没有电流流过的，若使电磁阀处于关闭状态，则必须给其电磁线圈通以电流；对于常闭型电磁阀来说，电磁阀处于闭合状态，其电磁线圈没有电流流过，若使电磁阀处于打开状态，则必须给其电磁线圈通以电流，如图 2-65 所示。

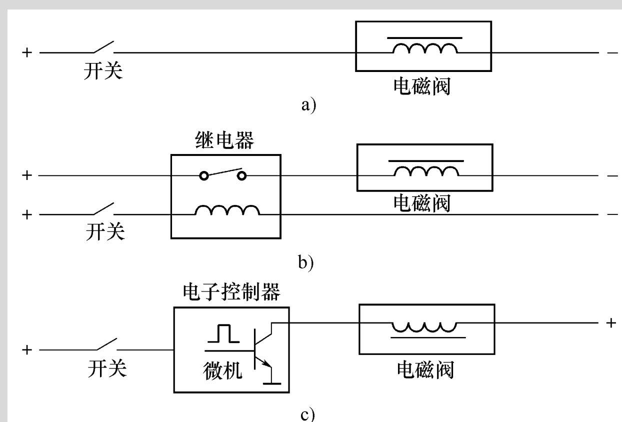


图 2-65　电磁阀的通断控制

a）开关直接控制电磁阀　b）继电器控制电磁阀　c）电子控制器控制电磁阀

对于电磁阀的通断控制，有开关直接控制的，开关可以控制电磁阀的正极，也可以控制电磁阀的负极；也有通过电磁继电器对电磁阀进行控制的。同样，继电器也可以控制电磁阀的正极，也可以控制电磁阀的负极。有些则通过开关或其他信号给电子控制器，然后由电子控制器对电磁阀进行正极或负极的控制。

（2）占空比控制　在电子控制系统中，根据工作的需要，**有些通道或阀门是随时要进行任意开度的调节的，以满足不同工况时的需要，**如发动机进气系统的怠速控制阀、燃油系统的电控喷油器、燃油压力控制阀等都是典型的占空比控制。图 2-66 所示为进气系统怠速电磁阀控制示意图。



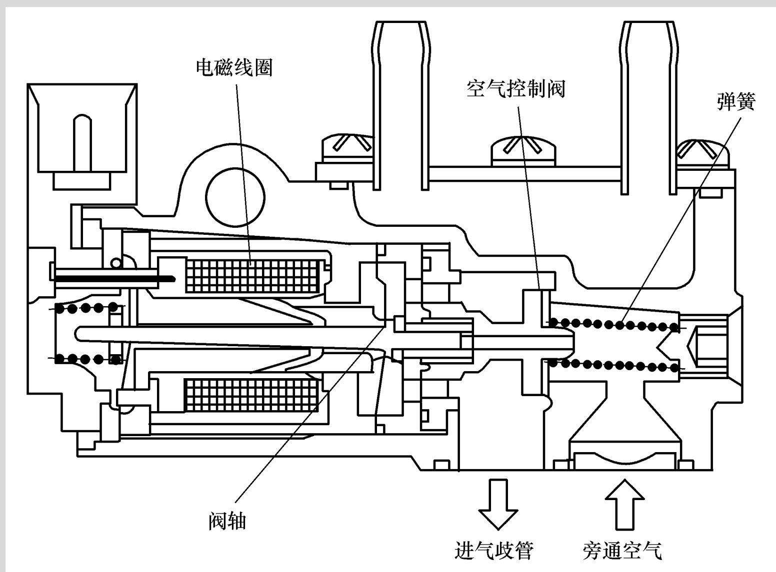


图 2-66　怠速空气电磁阀的控制示意图

2. 继电器式

当控制的电器件需要较大电流时，继电器是一种理想的控制元件，因为其具有小电流控制大电流的功用，所以在电路中广泛采用，不仅对开关，特别是对电子控制器内的电子电路起到了很好的保护作用。工作时通过开关或电子控制器内部电路对继电器电磁线圈通以电流，使电磁线圈产生磁力吸动触点，大电流将通过继电器触点输送给用电器，从而控制零件产生动作。

继电器可由开关或电子控制器来控制，可以控制电磁线圈的正极，也可以控制电磁线圈的负极。继电器控制电路如图 2-67 所示。

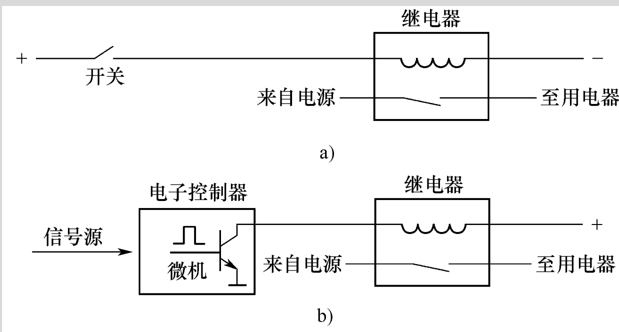


图 2-67　电磁继电器的控制电路

a）开关控制电磁继电器　b）电子控制器控制电磁继电器

3. 伺服电动机式

对于利用电动机作为动力来控制阀门或通道的系统来说，伺服电动机已经发挥了不可替代的作用，**工作中通过电子控制器（ECU）控制电动机的电流极性，使电动机正转或反转，以控制零件或阀门的转动或移动。**如发动机怠速电动机，也称步进电动机，电脑控制其电枢旋转时

可随时停在任意位置，以精确控制阀门的开度，来调节发动机怠速；还有空调系统空气通道的风门转换或开闭所用的伺服电动机等，实现不同需要时的风向转换，如图 2-68 所示。

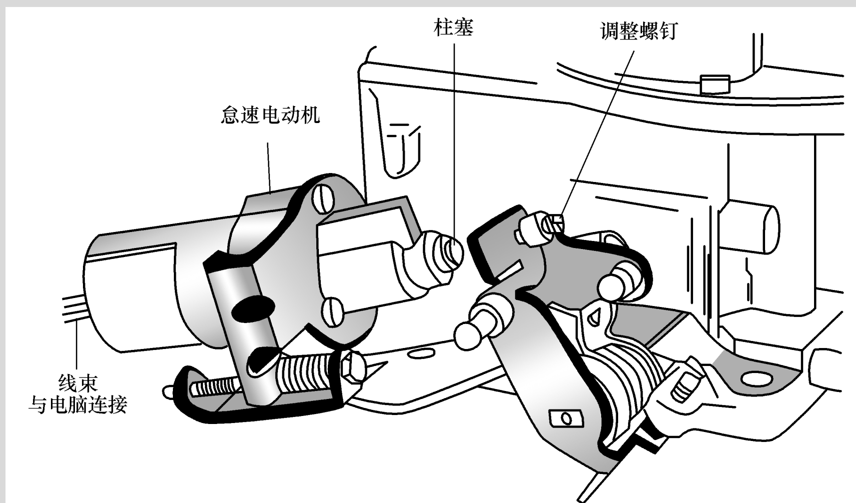


图 2-68　伺服电动机控制示意图

4. 显示器式

显示器式多指电脑对仪表板中的显示器或灯泡进行控制，以增加驾驶所需的信息。最常见的有各种电子控制系统故障指示灯、工作指示灯，有些还有各种电子式仪表等。

显示器式执行器控制示意如图 2-69 所示。

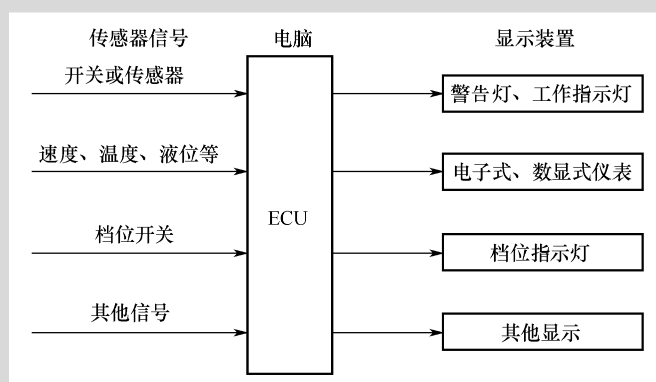


图 2-69　显示器式执行器控制示意图

第二节　博世电控高压共轨燃油系统的结构与原理

一、概述

1. 应用领域

1927 年，最早的直列式燃油喷射泵的问世标志着博世公司开始生产燃油喷射系统。现



在，直列式燃油喷射泵仍然在各种规格的商用柴油机、固定式柴油机、机车和轮船等上应用。喷油泵油压达 135MPa，应用于功率达到 160kW/缸的发动机。

多年以来，人们对柴油机有着各种各样的需求，例如，直接喷射（DI）发动机应用在小型货车和客车上。电控柴油机已经形成一个趋势，向着这些特殊领域发展。与传统的凸轮驱动系统相比，不仅增加了动力，而且降低了燃油消耗，并且降低了噪声和尾气排放。与传统凸轮驱动系统相比，装备博世共轨燃油直接喷射系统的柴油发动机有更加广阔的应用领域，例如，客车和轻型商务车、重型车、机车、船舶等。

2. 共轨式柴油喷射系统的优点

共轨式燃油系统的优点主要体现在以下几个方面。

1）在较佳的燃油经济性、较低污染气体排放及更低柴油发动机噪声的要求下，传统机械式调速柴油喷射系统已无法达到目标，只有高喷射压力、精密出油率及精确的柴油喷油量计量的共轨式柴油喷射系统才能完成。

2）要达到越来越严格的排气与噪声标准，以及低燃油消耗的要求，必须特别着重于柴油燃绕程序（直接或非直接喷射）。同时为确保高效率的空气/燃油混合气形成，喷射系统必须以 35 ~200MPa 的压力将柴油喷入燃烧室中，柴油喷射量也必须非常精确地计量。

3）目前，博世公司使用在直喷式柴油发动机上的共轨式喷射系统，比传统凸轮轴驱动的喷射系统，具有较佳的灵活性，其体现在如下几个方面。

① 广泛的适用范围。从小客车、每缸输出 30kW 的轻型商用车，到每缸最大输出达 200kW 的重型车辆、火车、船用发动机等，都可采用共轨式喷射系统。

② 高喷射压力。最高可达 140MPa。

注意

第一代共轨式喷射系统采用喷油压力为 135MPa 的电磁阀式喷油器，其高压泵总是保持在最高压力，导致燃油的浪费和很高的燃油温度。

注意

第二代共轨式喷射系统采用了喷油压力为 160MPa 的电磁阀式喷油器，它可根据发动机需求而改变输出压力，并具有预喷射和后喷射功能。预喷射在主喷射之前 10^{-4}s 内少量的燃油被喷进了气缸压燃，预热燃烧室。预热后的气缸使主喷射后的压燃更加容易，缸内的压力和温度不再是突然增加，有利于降低燃烧噪声。在膨胀过程中进行后喷射，产生二次燃烧，将缸内温度增加 200 ~250℃，降低了排气中的碳氢化合物。

2005 年 12 月 30 日，北京市率先实施国Ⅲ排放标准以来，我国柴油发动机大多采用了第二代高压共轨式燃油喷射系统，到目前为止，在柴油机燃油系统仍然处于主导地位。

注意

第三代共轨式喷射系统于 2003 年面世，采用喷油压力为 160 ~200MPa 的压电式喷油器，其主要特点是以石英压电原理的执行器替代高速电磁阀打开喷油器针阀。目前仅有部分车辆采用，是今后一段时间的发展方向。


注意

第四代共轨式喷射系统将采用喷油压力可达250MPa的液力增压式喷油器，允许在喷油器针阀处产生非常高的喷油压力，同时，又使共轨管及共轨管通向喷油器的高压油管内油压相对较低（共轨压力只有135MPa）。除喷油压力提高外，为降低燃烧时NO_x的生成，允许喷油压力逐步上升，从而实现缸内平稳燃烧，保证缓慢的温度变化梯度和低的NO_x生成，进而使混合气形成得以改善，有利于降低PM的形成。在更严格的排放标准要求下，是最具继承性和可持续发展的燃油喷射系统之一。

③ 可变喷射开始。

④ 喷射时期可分为引燃喷射、主喷射及后喷射。

⑤ 以作用模式的变化，可配合供给不同的喷射压力。

3. 喷油特性

（1）传统喷射特性　当今沿用的带分配器和直列喷油泵的传统燃油喷射系统，只有主喷油阶段，没有引燃和后燃阶段，如图2-70所示。电磁阀控制分配泵，朝着引入引燃阶段的方向发展。传统燃油喷射系统压力的产生和喷油是依靠凸轮轴和柱塞完成的。

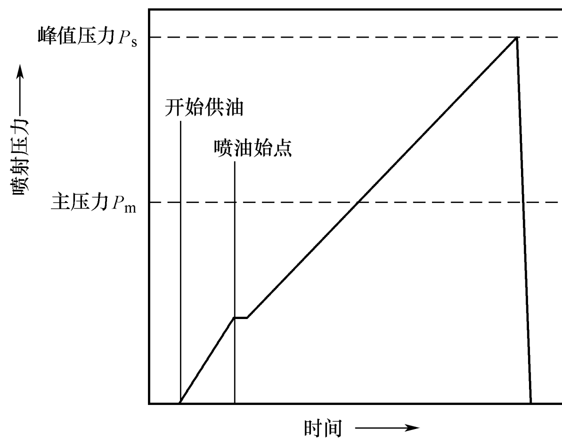


图2-70　传统喷射特性曲线

以下因素影响传统喷射特性。

1）喷油压力的增加依靠发动机转速和喷油量的增加。

2）在实际喷射过程中，喷油压力增加，然后下降，到喷射末了喷油器关闭。其影响结果如下。

① 较低油压时喷油量较少。

② 峰值压力是主压力的2倍。

③ 按照充分燃烧的需求，喷射曲线变化率几乎呈三角形。

峰值压力是由机械燃油喷射泵的元件及驱动力决定的。传统燃油喷射系统的燃烧室决定了A/F混合气的数量。

（2）共轨式柴油喷射系统的喷射特性

1）与传统式柴油喷系统比较，下列要求为理想的喷射特性。

① 产生油压与柴油喷射各自独立，且可与发动机任一作用状况配合，故可提供更高的自由度，已达到理想的空燃比。

② 喷射初期喷油量极少。

2）共轨式以其引燃喷射与主喷射的特性，可符合上述的喷射特性，如图2-71所示。

3）引燃喷射。引燃喷射可以在曲轴上止点前90°开始，如果喷射开始于上止点前不到40°，则燃油会聚集在活塞表面和缸壁上，能够使机油稀释。在引燃喷射作用下，少量的柴



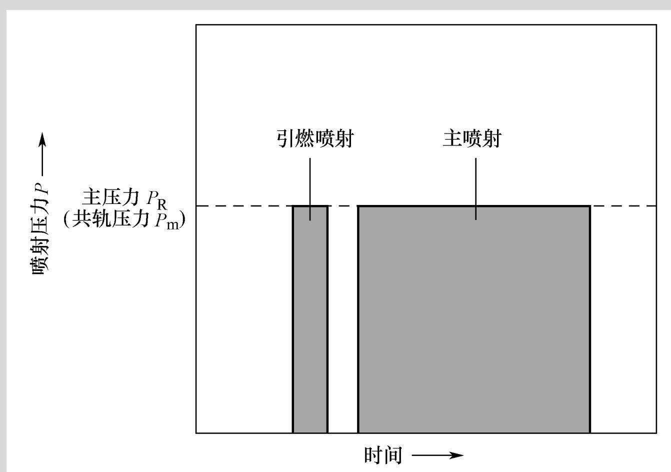


图 2-71　共轨喷射特性曲线

油（1 ~4mm^3）被喷射到气缸中，预处理一下燃烧室，燃烧效率因此被改进，并且有以下作用。

① 压缩压力轻微增加。

② 压燃延迟时间减少。

③ 燃烧压力的上升值和燃烧压力的峰值都降低（燃烧平顺）。

这些作用降低了燃烧噪声和燃油消耗，并且废气排放情况也好了很多。图 2-72 所示是不带引燃喷射的曲线图。缸压在上止点前平稳上升，在上止点达到峰值，当达到引燃最大的压力峰值时将产生大的噪声。图 2-73 所示是带引燃喷射的曲线图。在接近上止点（TDC）时压力达到更高值，并且燃烧压力的增加也非常迅速，可缩短点火延迟期，引燃喷射间接增加了发动机转矩。主喷射和引燃喷射之间的时间差和连续主喷射将影响燃油消耗量。

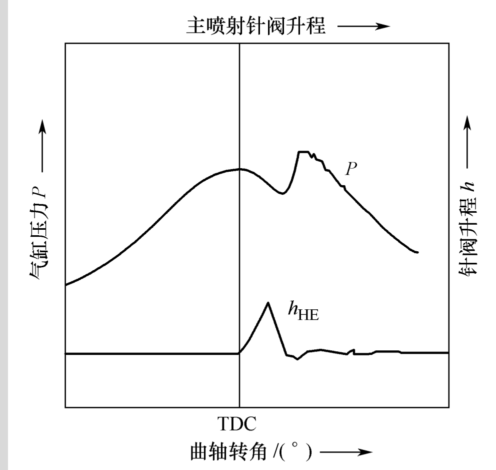


图 2-72　不带引燃喷射的曲线图

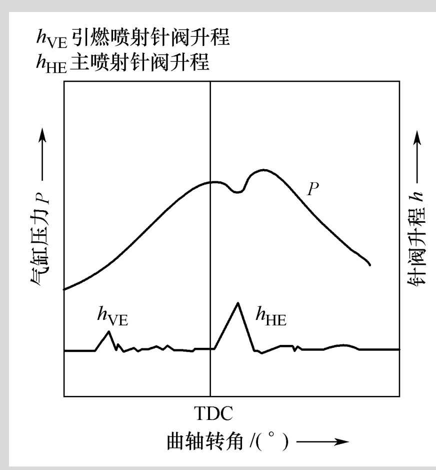


图 2-73　带引燃喷射的曲线图

4）主喷射。发动机输出功率来源于主喷射环节，这就意味着主喷射从根本上主导发动机转矩。实际上共轨燃油喷射系统的喷射压力在整个喷射过程中始终不变。

5）二次喷射。带有 NOx 催化转换器的二次喷射能减少 NOx 的排放。二次喷射紧接着主喷射，并且发生在膨胀阶段或排放阶段上止点后 200°。通过二次喷射把精确测量的燃油喷到废气中。在引燃和主喷射过程中，废气中残余的热量导致未燃烧的燃油蒸发，在废气排放行程中将废气混合物和燃油一起通过排气门排入废气系统。部分燃油通过 EGR 系统进行下一循环的引燃喷射。若装上合适的 NOx 催化转换器，将降低废气中 NOx 的含量。

二、高压共轨燃油系统的构造与作用

电控高压共轨系统为蓄压式共轨系统，**该系统主要由燃油箱、柴油滤清器、输油泵、高压泵、高低压燃油管、蓄压器（油轨）、喷油器、回油管和 ECU 等组成。**图 2-74 所示为燃油系统基本工作原理框图。

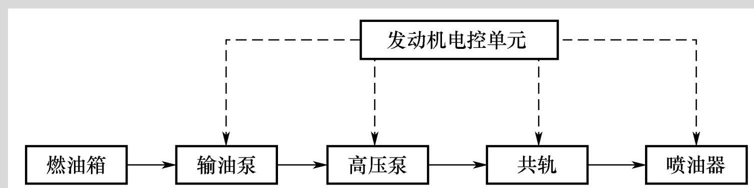


图 2-74　燃油系统基本工作原理框图

根据不同的车辆，燃油系统在车辆上的布置也略有区别。主要区别在于输油泵的安装位置：一种是将输油泵安装于燃油箱里，由电子控制器对其进行控制。这种结构比较适合于轿车或部分轻型车辆。输油泵外置的燃油系统结构如图 2-75 所示。另一种是将输油泵与供油泵组装在一起，与供油泵同时由发动机凸轮轴驱动。这种结构大量应用于重型货车或大型客车等。图 2-76 所示为输油泵内置的燃油系统结构。

注意

安装在燃油箱内的输油泵采用的是电动泵，由于受电脑的控制，在发动机起动前能提前使燃油管路建立油压，确保高压泵顺利产生高压，同时具有噪声小，不宜泄漏，更换方便等优点；但也因电脑失控，线路故障，电动机损坏极易导致故障。

注意

与高压泵组装在一起的输油泵，多采用齿轮泵，由发动机凸轮轴驱动，输油泵、高压泵同时工作，减少了输油管路的连接，输油效率大大提高且工作期间不需要养护。为了在第一次起动时或燃油箱放空排尽燃油管路系统中的空气，在齿轮式输油泵或低压管路上需设置手动泵。

1. 低压油路及零部件的结构与作用

低压油路部分包括燃油箱、输油泵、柴油滤清器以及低压管路等。共轨燃油系统低压油路部分如图 2-77 所示。各零部件的构造与作用如下。



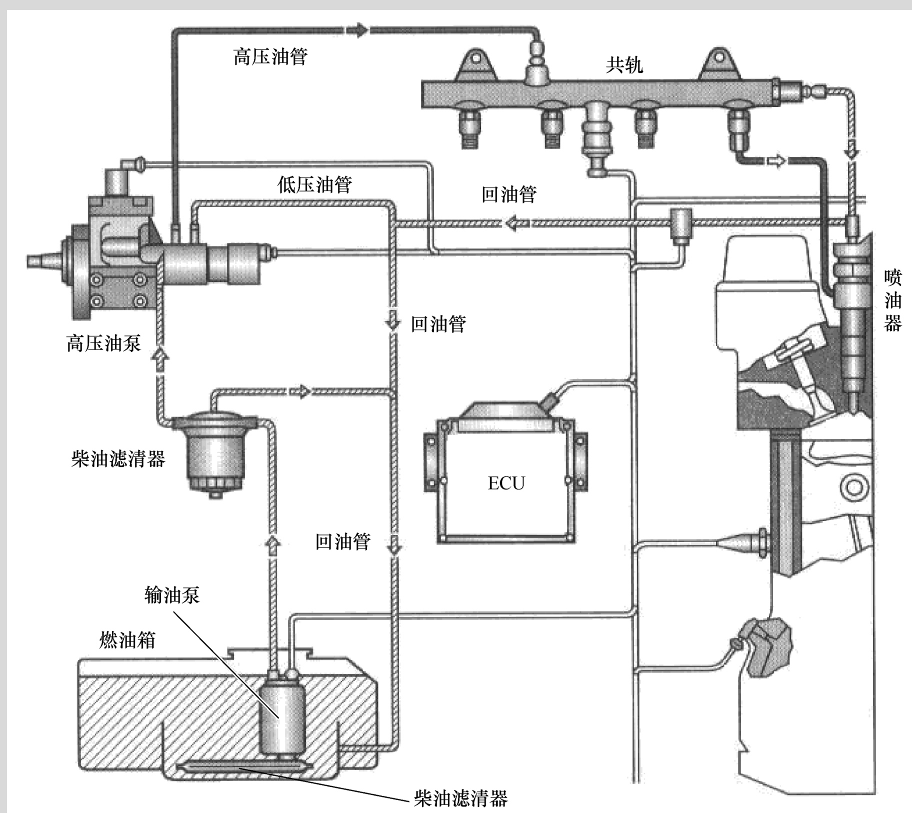


图 2-75　输油泵外置的高压共轨燃油系统结构

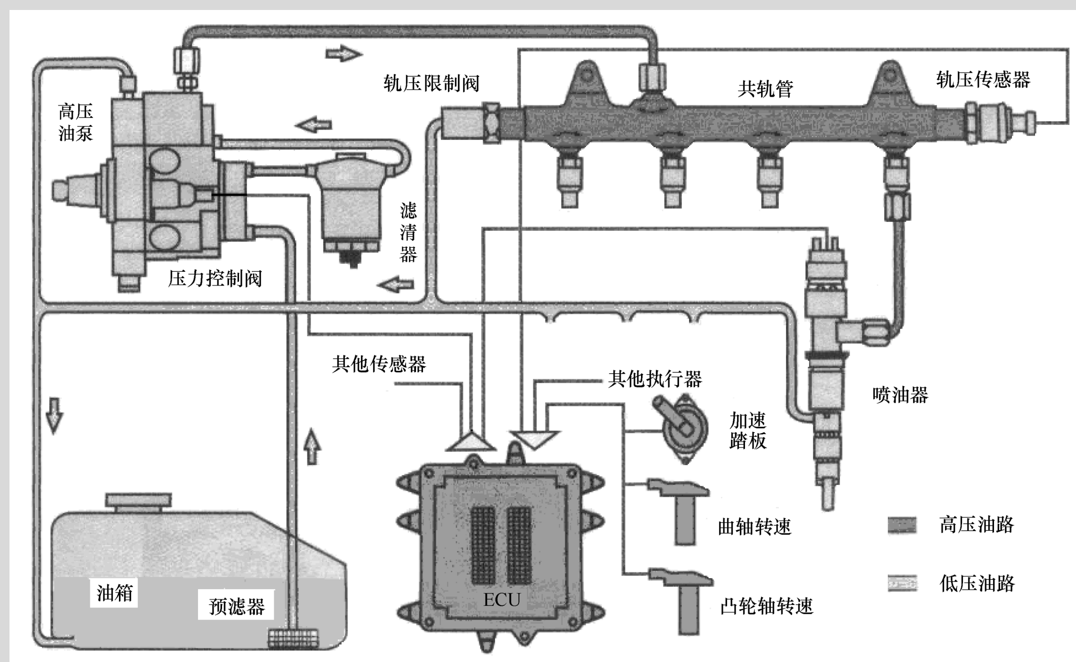


图 2-76　输油泵内置的高压共轨燃油系统结构

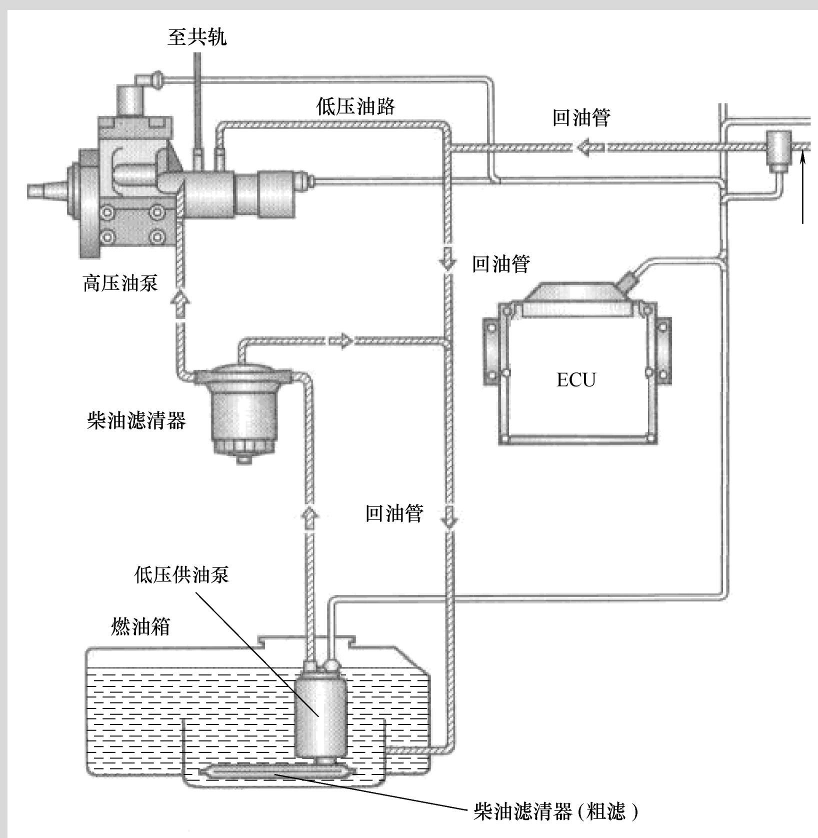


图 2-77　共轨燃油系统低压油路部分

（1）输油泵　输油泵的主要作用是供给高压油泵足够的具有规定压力的燃油。**目前输油泵常见有滚柱式和齿轮式两种。**滚柱式输油泵为电动式，仅用于小客车或轻型商用车辆，可装在油箱内或油箱外低压油管上；并有类似汽油喷射发动机般的油泵控制电路，当发动机停止运转，而起动开关在 0N 位置时，电动燃油泵停止运转。齿轮式输油泵为机械式，用在小客车，越野车辆及轻、重型车辆上。它与高压泵组合在一起，或由发动机直接驱动。

1）滚柱式输油泵。

① 滚柱泵的结构及工作原理。滚柱式转子泵主要由转子、与转子偏心的定子（即泵体）以及在转子和定子之间起密封作用的滚柱等组成，如图 2-78 所示。

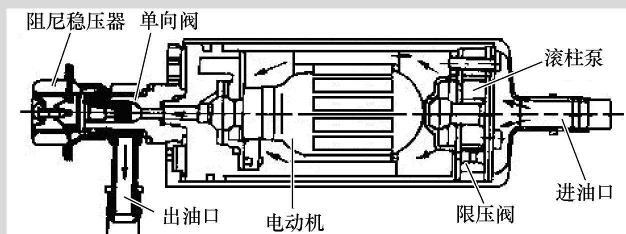


图 2-78　滚柱式输油泵



滚柱泵的转子由电动机驱动，当转子在电动机带动下旋转时，位于转子凹槽内的滚柱在离心力的作用下，压靠在定子的内表面上，两个相邻的滚柱之间形成一个封闭的空腔。在转子旋转过程中，这些空腔的容积随转子的转动产生变化，在容积由小变大一侧燃油被吸入，在容积由大变小一侧燃油被压出。其工作原理如图 2-79 所示。

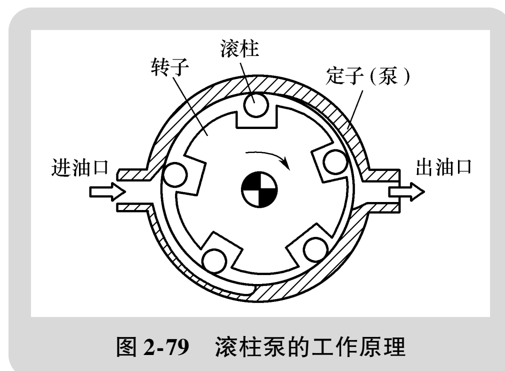


图 2-79　滚柱泵的工作原理

② 滚柱泵工作特点。

a. 滚柱泵是通过对燃油压缩来提升油压的，因此油泵出口端的油压脉动比叶片式油泵大得多。转子每转一周所发生的油压脉动次数等于滚柱数，因此必须采用阻尼稳压器，以减轻油泵后方燃油管内的压力脉动。

b. 由于滚柱泵在工作过程中泵油室的容积变化大，因此它的吸油高度和供油压力都比叶片式油泵大。

c. 由于滚柱泵是依靠滚柱与定子内壁的紧密贴合构成泵油室的，因此滚柱和定子易磨损，运行中噪声较大，且使用寿命也不如叶片式油泵。

③ 电动输油泵的控制电路。燃油喷射系统对输油泵控制的基本要求是，只有当发动机处于运转状态时，油泵才工作；但是在每次接通点火开关后，由电子控制器对输油泵进行短暂控制（一般 3 ~5s），其目的是使燃油系统能够迅速建立油压，以利于发动机的顺利起动，若发动机电子控制器没有得到起动信号，则停止输油泵工作，此时即使点火开关仍然处于接通状态，油泵也不工作。输油泵控制基本电路如图 2-80 所示。

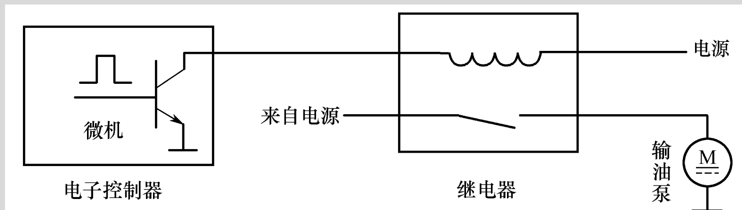


图 2-80　输油泵控制基本电路

2）齿轮式燃油泵。齿轮式输油泵用于共轨喷油系统中，向高压油泵输送燃油，其装在高压泵中与高压泵共用驱动装置，或装在发动机旁，配有单独的驱动装置。

① 齿轮泵的构造和工作原理。图 2-81 所示为齿轮式输油泵的基本构造，是由 2 个互相啮合反向转动的齿轮，将齿隙中的燃油从吸油端送往压油端，齿轮的接触面将吸油端和压油端互相密封以防止燃油倒流，其输出量与发动机转速成正比，因此，输油量的调节借助于吸油端的节流调节阀或压油端的溢流阀进行。

② 齿轮式输油泵的工作特点。齿轮式输油泵输出的油量比较均匀，油压的波动也比滚柱式输油泵小，且在工作期间不需要保养。为了在第一次起动时或燃油箱放空排尽燃油管路系统中的空气，在齿轮式输油泵或低压管路上需设置手动泵。


注意

输油泵损坏将导致低压油路中不供油，供油不足，供油不稳及漏气等常见故障；造成供油量不足，功率下降，加不上油，严重时还会有缺缸、高速行驶时，排气呈蓝白黑烟等现象；当发动机无法起动时，且无故障码，用故障诊断仪测得油轨压力为 2～3MPa（油轨有燃油进入但压力不足）。

（2）柴油滤清器　柴油中的杂质，可能导致泵零件、出油阀及喷油嘴等的磨损；另外柴油中含水，可能变成乳状物或因温度变化而凝结，若水进入喷射系统，则可能导致零件锈蚀。与其他喷射系统相同，共轨式喷射系统也需要附有水分储存室的柴油滤清器，如图 2-82 所示。必须定期打开放水螺钉放水。

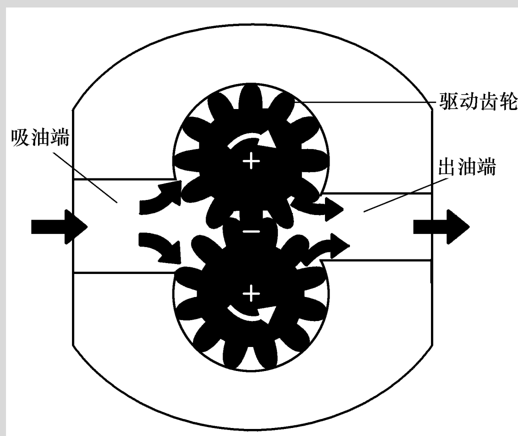


图 2-81　齿轮式输油泵的构造与作用

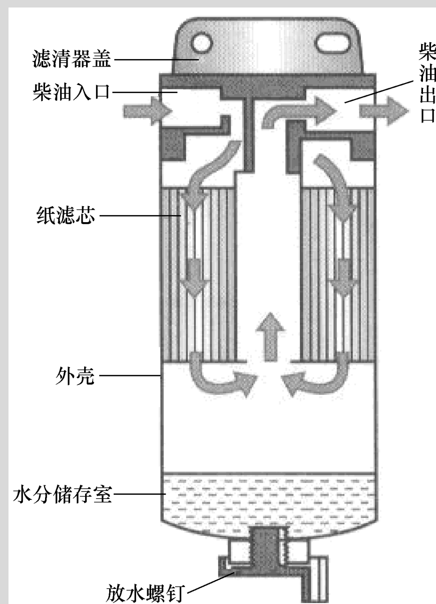


图 2-82　柴油滤清器构造

现在越来越多的车用柴油发动机设有自动警告装置，当积水达到预设体积时，传感器会将积水过多信号传输给电控单元，由电控单元点亮警告灯。

2. 高压油路及零部件的结构与作用

共轨燃油系统高压油路部分如图 2-83 所示，各零部件的构造与作用如下。

（1）高压泵

1）高压泵的结构。高压泵位于低压部分和高压部分之间，**它的主要任务是在车辆所有工作范围和整个使用寿命期间，在共轨中持续产生符合系统压力要求的高压燃油，以及快速起动过程和共轨中压力迅速提高时所需的燃油储备。**

高压泵通常像普通分配泵那样装在柴油发动机上，以齿轮、链条或同步带传递动力，最高转速为 3000r/min，依靠燃油润滑。因为安装空间大小的不同，调压阀通常直接装在高压泵旁或固定在共轨上。图 2-84 和图 2-85 分别是 CPI 型高压泵的纵向剖视图和横向剖视图。



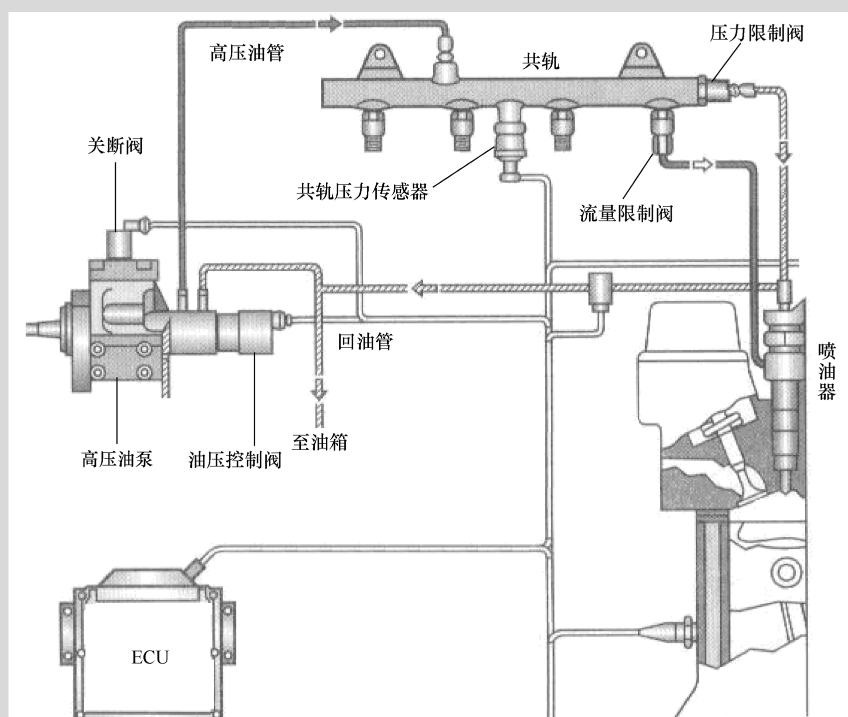


图 2-83　共轨燃油系统高压油路部分

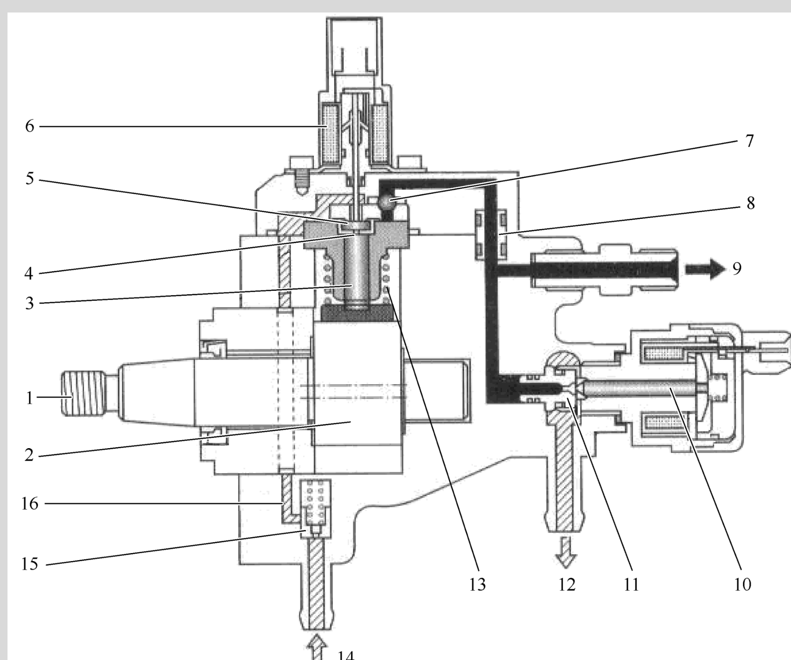


图 2-84　CPI 型高压泵纵向剖视图

1—传动轴　2—偏心凸轮　3—柱塞　4—高压腔　5—进油阀　6—停油电磁阀　7—出油阀　8—密封件　9—通向轨道的管接头　10—内压控制阀　11—球阀　12—回油口　13—柱塞弹簧　14—进油口　15—带节流孔的进油压力控制阀　16—通向高压腔的低压油路

CPI 高压泵为三缸径向柱塞泵，三对柱塞沿圆周等距分布，各缸间夹角均为 120°，传动轴 1（图 2-85）由发动机驱动，柱塞 3 位于传动轴的凸轮上，在偏心凸轮 2 及柱塞弹簧 13（图 2-84）的作用下做往复运动，并因此产生吸油、泵油功能。控制压力的内压控制阀 10（图 2-84），根据高压泵内空间的大小，可以安装在高压泵内，也可以分开安装。

2）高压泵的工作原理。共轨系统中的高压泵工作时，其吸油、泵油过程与传统的直列泵近似。现分别叙述如下。

① 吸油行程。由输油泵泵出的低压燃油，经精滤器滤去杂质，除尽水分后，由进油口 14（图 2-84）进入高压腔，当输入高压泵的燃油压力达到了进油压力控制阀 15 的开启压力（0.05～0.15MPa）时，燃油会从其节流孔流入低压油路，并从各缸进油阀 5 进入各缸柱塞顶上的高压腔 4 内。柱塞 3 在柱塞弹簧 13 的作用下，始终紧贴在凸轮 2 的工作面上，随着凸轮的旋转，柱塞在偏心凸轮上做往复运动。当柱塞随凸轮的旋转，由上止点向下止点移动时，高压腔 4 内的容积不断加大，压力不断降低，燃油会不断被吸入。当柱塞到达下止点后，吸油行程才结束。

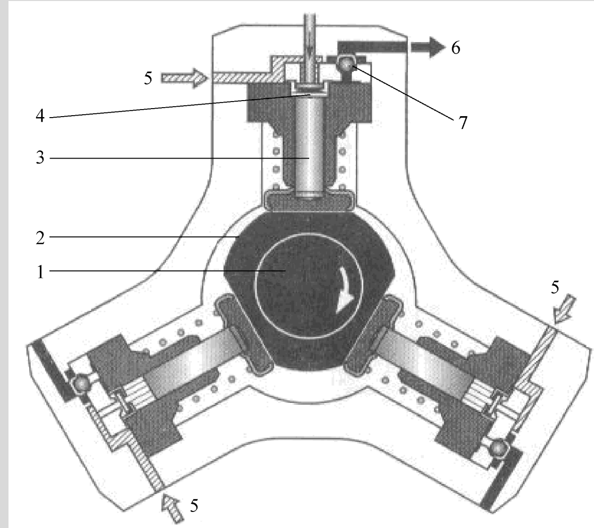


图 2-85　CPI 型高压泵横剖视图

1—传动轴　2—偏心凸轮　3—柱塞
4—进油阀　5—进油口　6—出油口　7—出油阀

② 供油行程。油泵继续旋转，柱塞随偏心凸轮的旋转，到达下止点，吸油行程结束后，开始向上移动时，进油阀 5（图 2-84）被关闭，因此，切断了低压油路 16 和高压腔 4 的燃油通道，使高压腔成为一个密封空间，这时柱塞 3 在偏心凸轮 2 的作用下，克服了柱塞弹簧 13 的预紧力，随凸轮向上移动，开始对高压腔内的燃油施压，随着偏心凸轮的旋转，柱塞继续上移，高压腔内燃油压力不断加大。

由于出油阀 7 与通向轨道的高压油路相通，出油阀背压很高，相当于轨道压力，因此，一直处于关闭状态，当柱塞上升到高压腔 4 内的燃油压力大于共轨轨道内的燃油压力后，出油阀 7 才被顶开。出油阀开启后，柱塞顶部高压腔内燃油将经高压油路，从高压管接头 9 流向高压共轨轨道，开始向轨道供油。出油阀打开后，柱塞仍在上移，供油继续进行，一直到上止点都在供油，柱塞的这段行程称为供油行程。

油泵继续旋转，柱塞随凸轮上升到上止点后，随油泵继续旋转，柱塞将在柱塞弹簧的作用下，又会开始下降，下一供油循环开始，各缸供油过程都是一样的。传动轴每转 360°，三缸泵各供油一次。因此，该泵结构紧凑，流量大，且在泵油过程中只负责向共轨内提供高压油，对喷油过程并无联系。

在向共轨供油过程中，存在油量和油压的控制问题，其解决方法如下。





注意

高压泵的柱塞直径、凸轮升程、缸数和转速是影响供油量及泵油压力的基本参数，一经选定，最大供油量就已确定。所供油量能满足大负荷时的最大油量所需，但柴油机并不是都在大负荷下工作。尤其是车用柴油机大部分工况都是在部分负荷下进行，必然会有一定量的高压燃油过剩，这些多余的燃油在高压腔内的内压控制阀控制下，由回油口流回油箱，这些过剩的燃油都是在高压腔内经过压缩、内能增加、油温上升的状态下流回到油箱的，会出现卸压放热。其结果不但使整个系统内油温升高，也把燃油在压缩过程中所做的部分功白白浪费，总效率也因此下降。

为了减少上述能量损失，防止油温过高，可采用下列措施。

一是停缸。在部分负荷时，可停止一缸供油，其办法是对停油电磁阀通电，由电磁阀阀芯一直顶住吸油阀，使该缸进油阀处于常开状态。高压腔与低压油路始终相通，柱塞在供油行程中，对该缸高压腔内的燃油不起压缩作用。因此，基本上不消耗功率（或者消耗甚微）。其他缸柱塞依然正常泵油。

通过上述办法确实能节省部分能量，油温也能适当控制，但柴油机工况千变万化，上述那种有级的粗调，很难使柴油机在各种工况下，高压泵都能提供合适的、经济的供油量。

二是采用油量控制电磁阀。CPI 型高压泵中并无附加装置油量控制电磁阀，而在 CPI 型的改进型 CPIH 型高压泵上装有油量控制电磁阀 13（图 2-86）。

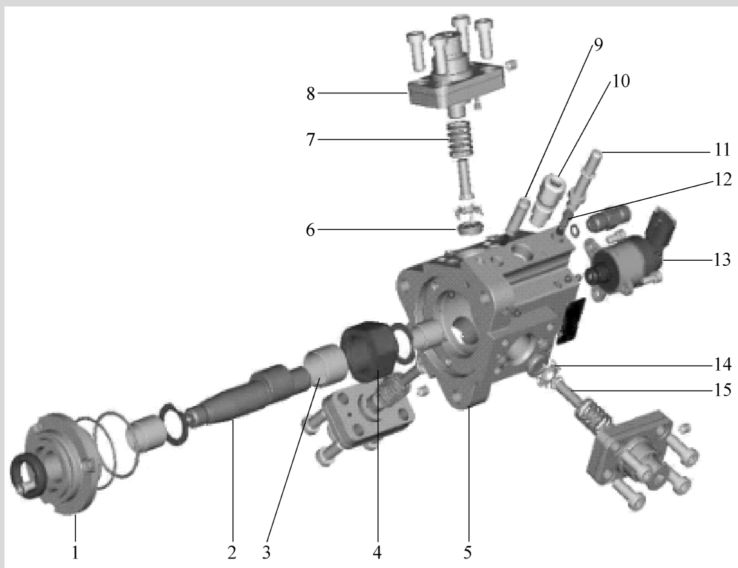
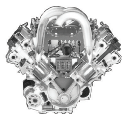


图 2-86　CPIH 型高压泵

1—法兰　2—偏心凸轮　3—轴套　4—滚轮　5—泵体　6—垫片　7—柱塞弹簧　8—泵盖　9—回油管道　10—溢流阀　11—进油管道　12—过滤器　13—油量控制电磁阀　14—保持架　15—柱塞

油量控制电磁阀的主要作用是，对进入高压泵内的燃油进行无级调节。图 2-87 是油量控制电磁阀的结构。其工作原理如下。

当电磁阀在控制器（ECU）控制下通电时，线圈 5 产生电磁力，使衔铁顶杆 4 推动控制



活塞10，克服了弹簧11的预紧力，沿轴向下移，改变通油孔13的流通截面，从而改变了燃油流量。上述变化可按轨道流量需要，进行无级控制。通过控制活塞10的移动，首先是控制进入高压腔内的燃油量，因此，可以有效地调节进入轨道的流量，在大负荷或部分负荷时都能按需供油，这样就可以避免部分负荷时的能量损失，也使在不同工况运行时，燃油都不易过热。

上述电控过程是由控制器利用脉宽调制（PWM）信号进行控制的，在不同的占空比下，使控制活塞在不同的位置，对通油孔13产生不同的开度，按需控制流量，这个过程通过电子控制，可以精确地进行无级调整。

CPIH改进型高压泵不但具有油量无级调节功能，同时把最高供油压力也从CPI型高压泵的135MPa提高到160MPa。

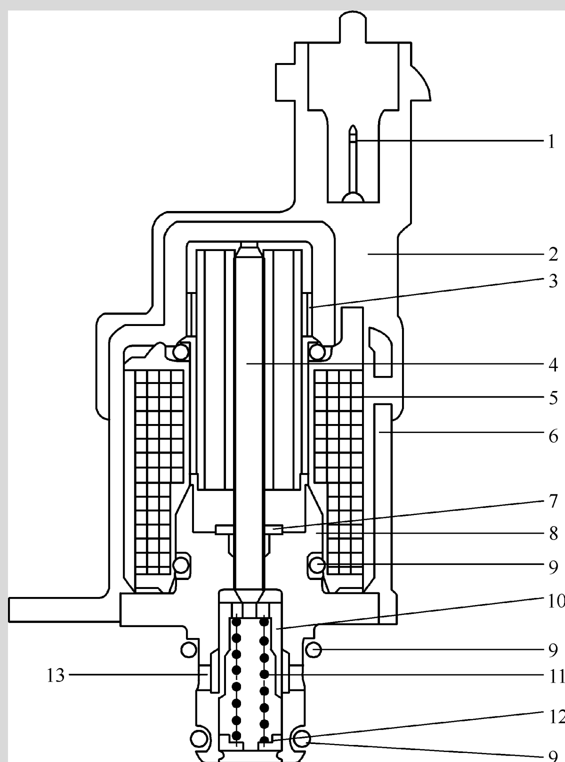


图2-87　油量控制电磁阀

1—电线接口　2—电磁阀体　3—轴承　4—衔铁顶杆　5—线圈　6—电磁阀　7—气隙
8—铁心　9—O形圈　10—控制活塞　11—弹簧　12—弹簧座　13—通油孔

注意

在高压共轨喷油系统中，共轨轨道压力有两个变化。
一是轨道内燃油平均压力的高低变化，是属于宏观的压力波动。
二是喷油器的开启和关闭会引起轨道压力的瞬时高频振荡，属于微观的波动。

共轨内产生的上述两种压力波动都会影响喷油器的正常喷射。为此，在高压泵内通向轨道的高压油路处，装上一个内压控制阀10（图2-84），以便及时调整压向轨道内供油的燃油压力。



3）高压泵的供油效率。由于高压泵是按高供油量设计的，在怠速和部分低负荷工作状态下，被压缩的燃油会有冗余。通常这部分冗余的燃油经调压阀流回油箱，但由于被压缩的燃油在调压阀出口处压力降低，压缩的能量损失而转变成热能，使燃油温度升高，从而降低了总效率。若泵油量过多，使柱塞泵空转，切断供应高压燃油，可使供油效率适应燃油的需要量，可部分补偿上述损失。

柱塞被切断供油时，送到共轨中的燃油量减少。因为在柱塞偶件切断电磁阀时，装在其中的衔铁销将吸油阀打开，从而使供油行程中吸入柱塞腔中的燃油不受压缩，又流回到低压油路，柱塞腔内不增加压力。柱塞被切断供油后，高压泵不再连续供油，而是处于供油间歇阶段，因此减少了功率消耗。

高压泵的供油量与其转速成正比，而高压泵的转速取决于发动机转速。喷油系统装配在发动机上时，其传动比的设计一方面要减少多余的供油量，另一方面又要满足发动机全负荷时对燃油的需要。可选取的传动比通常为1:2和2:3，具体视曲轴而定。

（2）内压控制阀　内压控制阀10安装在高压泵内部（图2-84）。

1）内压控制阀的作用。内压力控制阀根据发动机工况的变化，确定轨道中的压力，并将其保持在该水平上。

当轨道压力超过规定值时，内压控制阀打开，部分轨道内的高压燃油会通过集油管返回到油箱，使轨道压力降到正常值。若轨道压力太低，压力控制阀会关闭，将高压油路和低压油路隔开并密封，在高压泵的作用下轨道压力又会回升到期望值。

2）内压控制阀结构。图2-84中的内压控制阀10是安装在高压泵内部的一种形式。为控制轨道燃油压力，内压控制阀的高压进油孔10（图2-88）直接与轨道油路相通。球阀6是内压控制阀内的重要零件，球阀落座关闭时，会切断高、低压油路；打开时，高、低压油路畅通。

3）内压控制阀工作原理。压力控制阀中有两条控制回路。

① 用于控制设定轨道中的平均压力波动，属于慢响应电子控制回路。

② 用于快速补偿高频压力波动的快速响应机械控制回路。

4）内压控制阀的工作过程。电磁阀不通电时，由电磁阀弹簧2（图2-88）的预紧力把球阀6紧压在阀体11的球阀座面上，当进入高压进油孔10内的燃油压力超过10MPa时，就能克服电磁阀弹簧2的预紧力把球阀顶开，也就是说，高压油路燃油压力必须超过10MPa后，高压油路才从低压出口12回油降压。按照供油量的多少，确定球阀开度的大小和开启时间的长短。

由于内压控制阀不通电时，高压油路内燃油压力超过10MPa，就会克服电磁阀弹簧2的预紧力，回油降压。因此，高压油路内的燃油压力难以提高。要提高高压油路油压，必须加大作用在球阀6上的压力，使球阀在更高的燃油压力作用下才能打开卸压。因此，除作用在球阀上的弹簧力外，还需增加电磁力。其措施如下。

由控制器（ECU）根据需要发出指令，使电磁阀通电，电磁铁对衔铁3产生电磁吸力，并通过阀芯13作用在球阀上，球阀因此承受着弹簧力和电磁力的双重压力，高压进油孔10内的燃油压力必须大于上述两种力的合力后，才能顶开球阀，使高压燃油从低压出口12处回油卸压。由于高压进油孔10与轨道内的燃油相通，因此，球阀开启压力的大小直接影响轨道燃油压力的高低。

球阀开启后，如弹簧力和电磁力保持不变，球阀会维持在一定位置，使高压油路通向轨

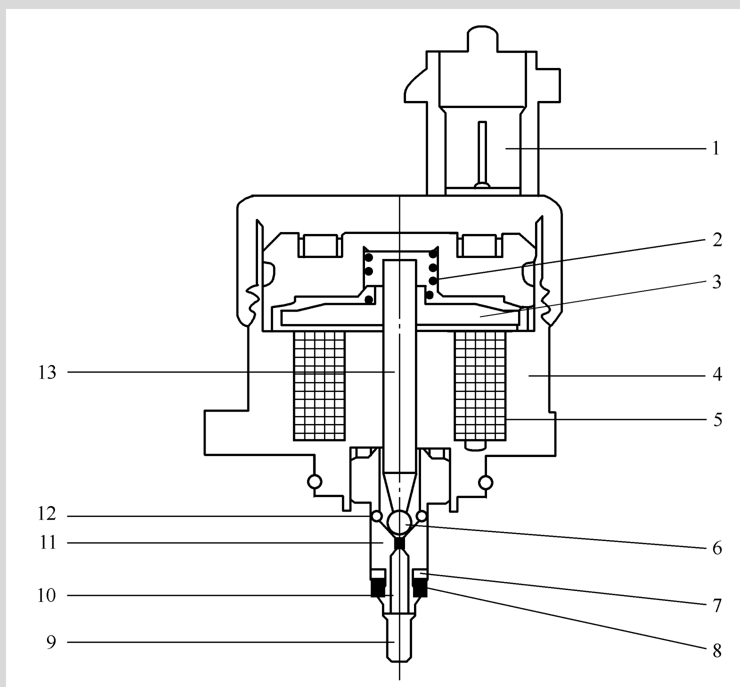


图 2-88　内压控制阀（在高压泵内）

1—电子接头　2—电磁阀弹簧　3—衔铁　4—控制阀外壳　5—线圈
6—球阀　7—垫片　8—O 形圈　9—过滤网　10—高压进油孔
11—阀体　12—低压出口　13—阀芯

道的燃油压力保持恒定。即使高压泵供油量发生变化或因喷油器喷出一定燃油，而引起轨道压力波动时，都会由内压控制阀使球阀采用不同的开启位置来平衡。

通常只要选定电磁阀弹簧 2，则作用在球阀上的压力曲线不会改变，而作用在球阀上的电磁力则和电流成正比，是可变的。因此，要改变作用在球阀上的电磁力，只有通过改变电流强度实现。一般采用脉宽调制（PWM）信号来控制电流的变化。控制电路如图 2-89 所示。

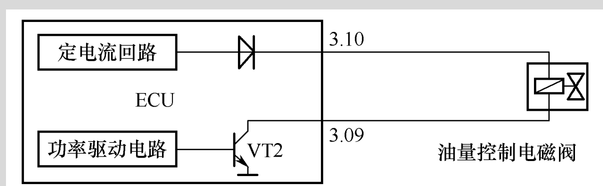


图 2-89　油量控制电磁阀控制电路

注意

分析表明：通向轨道的高压燃油，其压力的高低是由控制器对电流进行调节来实现的，电流的变化即轨道压力的变化。燃油压力的可控，加上喷油和泵油功能的分开，成为共轨系统的突出优点之一，这是其他电控系统无法比拟的。



（3）电控喷油器

1）喷油器的作用。**电控喷油器是柴油电控系统最重要的执行器，它替代了普通喷油系统中的喷油嘴和喷油器总成，与直喷式柴油机中的喷油器大体相似。**喷油器用卡夹装在气缸盖中，共轨喷油器在直喷式柴油机中的安装不需要气缸盖在结构上有很大变化。

发动机电控单元（ECU）根据发动机转速和油门开度信号以及温度、压力等相关信号，计算发动机实际运转工况下的最佳喷油量，并与存储在 ECU 中的目标值或 MAP 图相互比较，最后确定实际喷油量，发出驱动信号，通过对喷油器电磁阀的通、断电时刻及通、断电持续时间直接控制喷油量，使发动机在最佳状态下运转。

2）结构与原理。在电控共轨燃油系统中，设计、工艺难度最大的部件就是电控喷油器，到目前为止，共轨系统中品种最多的部件也是电控喷油器。各种电控喷油器的基本原理相同，结构相似，但外形相差较大。图 2-90 所示为博世公司电控喷油器的结构。

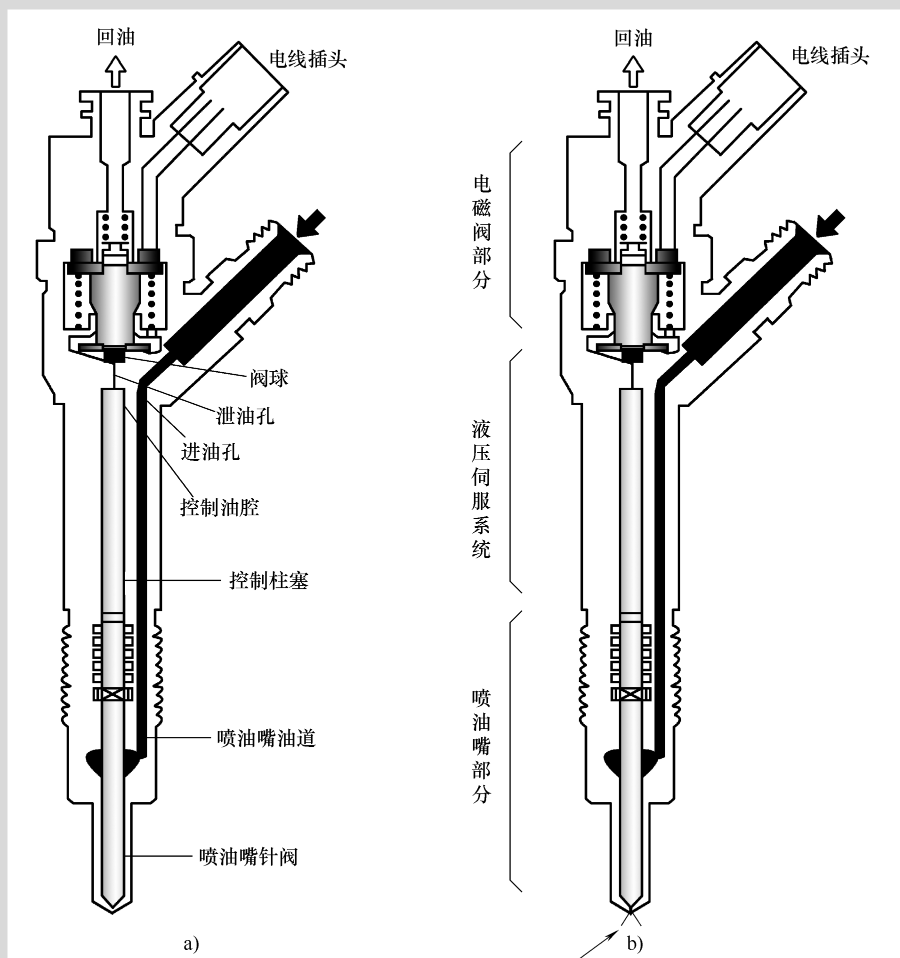
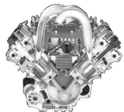


图 2-90　电控喷油器结构

a）不喷油时　b）喷油时

电控喷油器由喷油嘴、液压伺服系统与电磁阀三部分组成。燃油从高压接头经进油通道送往喷油嘴，经进油节流孔送入控制室，控制室通过由电磁阀打开的回油节流孔与回油孔



联接。

回油节流孔在关闭状态时，作用在控制活塞上的液压力大于作用在喷油嘴针阀承压面上的力，因此喷油嘴针阀被压在座面上，从而没有燃油进入燃烧室。

电磁阀动作时，打开回油节流孔，控制室内的压力下降，当作用在控制活塞上的液压力低于作用在喷油嘴针阀承压面上的作用力时，喷油嘴针阀立即开启，燃油通过喷油孔喷入燃烧室。由于电磁阀不能直接产生迅速关闭针阀所需的力，因此，经过一个液力放大系统实现针阀的这种间接控制。在这个过程中，除喷入燃烧室的燃油量之外，还有附加的所谓控制油量经控制室的节流孔进入回油通道。

除喷油量和控制油量外，还有针阀导向部分和活塞导向部分的泄漏油量。这种控制油量和泄漏油量经带有集油管（溢流阀、供油泵和调压阀也与集油管接通）的回油通道回流到油箱。

3）工作方式。在发动机和供油泵工作时，喷油器的工作状态如下。

① 喷油器关闭（静止状态）。电磁阀在静止状态不受控制，因此是关闭的。回油节流孔关闭时，电枢的钢球通过阀弹簧压在回油节流孔的座面上。控制室内建立共轨的高压，同样的压力也存在于喷油嘴的内腔容积中，共轨压力在控制柱塞端面上施加的力及喷油器调压弹簧的力大于作用在针阀承压面上的液压力，针阀处于关闭状态。

② 喷油器开启（喷油开始）。喷油器一般处于关闭状态。当电磁阀通电后，在吸动电流的作用下迅速开启，当电磁铁的作用力大于弹簧的作用力时，回油节流孔开启，在极短时间内，升高的吸动电流变为较小的电磁阀保持电流，随着回油节流孔的打开，燃油从控制室流入上面的空腔，并经回油通道回流到油箱，控制室内的压力下降，于是控制室内的压力小于喷油嘴内腔容积中的压力，控制室中减小了的作用力引起作用在控制柱塞上的作用力减小，从而针阀开启，开始喷油。

针阀开启速度决定于进、回油节流孔之间的流量差。控制柱塞达到上限位置，并定位在进、回油节流孔之间，此时，喷油嘴完全打开，燃油以近于共轨压力喷入燃烧室。

③ 喷油器关闭（喷油结束）。如果不控制电磁阀，则电枢在弹簧力的作用下向下压，钢球关闭回油节流孔。

电枢设计成两部分组合式，电枢板经一拨杆向下引动，但它可用复位弹簧向下回弹，从而没有向下的力作用在电枢和钢球上。

回油节流孔关闭，进油节流孔的进油使控制室中建立起与共轨中相同的压力，这种升高了的压力使作用在控制柱塞上端的压力增加，这个来自控制室的作用力和弹簧力超过了针阀下方的液压力，于是针阀关闭，针阀关闭速度决定于进油节流孔的流量。

注意

喷油器出现的故障分为机械故障和电路故障。

机械故障常表现为喷油器雾化不良、针阀卡死、针阀与针阀孔导向面磨损、喷油嘴滴油和回油量过高。可能导致喷油压力降低，喷油时间推迟，发动机功率下降、抖动、温度过高，甚至熄火以及起动困难，无法起动，排气管冒白烟、黑烟等故障现象。

电路故障主要表现在电磁线圈短路、断路及控制信号失效等方面。可能导致起动困难、抖动、缺缸甚至无法起动等故障现象。




注意

喷油器的检查主要分为电气性能检查和力学性能检查。

电气性能检查是在确认喷油器电磁线圈阻值、线路正常的前提下，主要通过诊断仪进行故障码查询、数据流分析和喷油波形分析来进行判断。

力学性能检查最好的办法是采用定型的共轨燃油喷射系统试验台，它可提供最低喷油压力、喷油速率、响应速度（最小喷油持续时间及间隔）、雾化效果和密封性等完整的喷油器模拟测试功能，并对喷油器的技术状况进行比较。

喷油器带有精密阀组件，其本身是靠柴油润滑的，一旦系统进入水分，可能会造成机械部件锈蚀或润滑不良等问题，所以保障喷油器正常工作的首要条件，是选择符合规定的燃油且及时更换滤清器。

（4）共轨　**共轨的任务是存储高压燃油，高压泵的供油和喷油所产生的压力波动由共轨的容积进行缓冲，在输出较大燃油量时，所有气缸共用的共轨压力也应近似保持为恒定值，从而确保喷油器打开时喷油压力不变。**

图 2-91 为高压共轨的结构。它是一根锻造钢管，油轨的内径为 10mm，长度范围在 280 ~ 600mm 之间，具体长度按发动机的要求而定，高压柴油经流量限制器通过各自的油管与喷油器联接。共轨上装有油压传感器、压力限制阀及流量限制器。

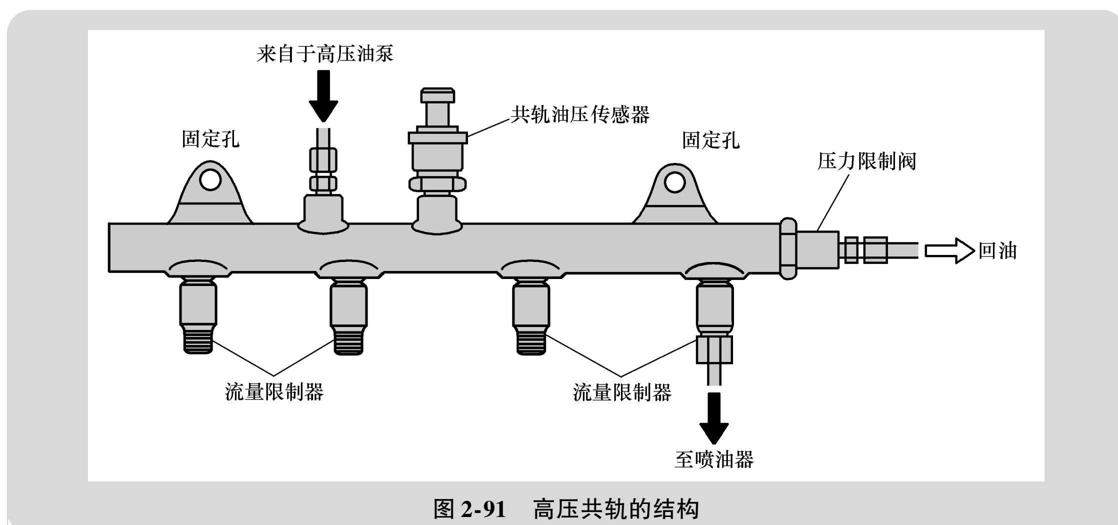


图 2-91　高压共轨的结构

1）压力限制阀。

① 作用。压力限制阀与过压阀或溢流阀的作用相同，相当于安全阀，它限制共轨中的压力，在压力限定值超出时，限压阀通过打开溢流口来限制油轨中的压力。限压阀允许油轨中短时的最大压力为 160MPa。

② 结构。压力限制阀的构造如图 2-92 所示，它属于一种机械-液压控制装置，以螺纹紧固在轨道端部，主要由限压阀 2、移动活塞 4、弹簧 5、限位块 6 等部件组成。

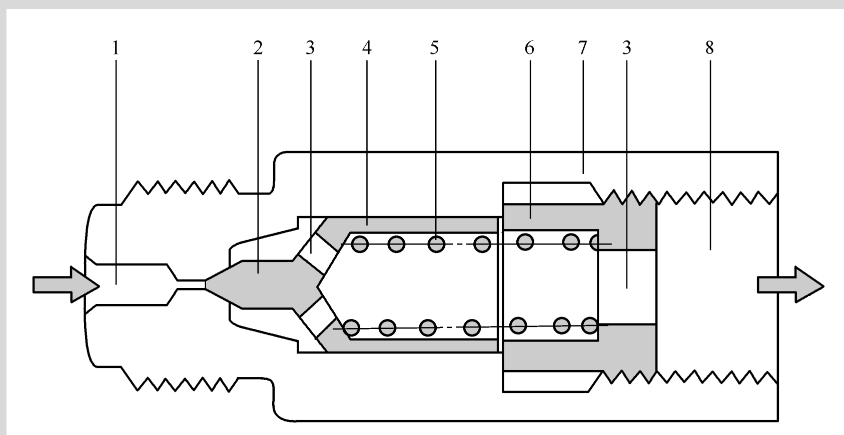


图 2-92　压力限制阀的构造
1—高压燃油进油孔　2—限压阀　3—燃油通道　4—移动活塞
5—弹簧　6—限位块　7—阀体　8—回油螺钉

③ 工作原理。压力限制阀与轨道联接端有进油孔 1，与轨道内腔相通，轨道内的高压燃油由进油孔 1 进入压力限制阀内，直接作用在限压阀 2 上。限压阀 2 在弹簧 5 的作用下，其座面处于关闭状态。在正常工况下最大燃油压力小于允许的最大值 160MPa，弹簧力始终能把限压阀 2 压靠在密封座面上，共轨内的高压燃油不能由此流出。但当轨道内燃油压力超过最大允许值后，作用在限压阀上的燃油压力大于弹簧的压力，会顶开限压阀，这时轨道内的部分高压燃油能从打开的座面处，流入压力限制阀内，并经燃油通道 3 由回油螺钉 8 流回油箱，轨道压力随之下降。当压力下降到允许值后，弹簧力又会使限压阀 2 上的密封座面关闭，轨道压力不再下降。这样把轨道压力始终控制在许可范围内。

2）流量限制阀。

① 作用。流量限制阀的作用是控制最大燃油流量，防止喷油器可能出现持续喷油现象，如果某一缸从轨道输出的油量超出规定值时，流量限制器将流向相应喷油器的进油管关闭。由于该部件结构较为复杂，属于选装件，有被省略的可能。

② 结构与原理。图 2-93 所示为流量限制器的构造。两端带有外螺纹的螺套 5，一端固定在轨道接头上，另一端与喷油器管接头联接，螺套 5 的中孔内装有限位块 2、活塞 3、弹簧 4 等零件。在正常情况下，由于弹簧 4 的作用，把

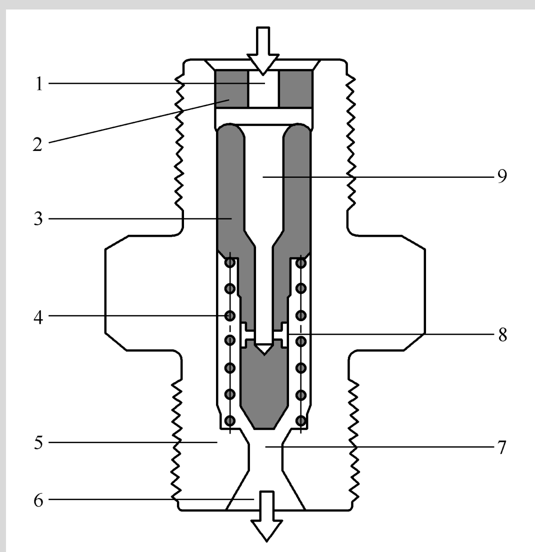


图 2-93　流量限制器的构造
1—进油孔（与轨道相通）　2—限位块　3—活塞
4—弹簧　5—螺套　6—通油孔（与喷油器相通）
7—座面（通道）　8—节流孔　9—中心孔



活塞 3 向上压到与限位块 2 相接触的位置。这时螺套 5 的座面（通道）7 处于开启状态，轨道内的高压燃油由进油孔 1 进入流量限制器内，从中心孔 9 经径向节流孔 8，通过座面 7、通油孔 6 流进喷油器，整个流量限制器成为沟通轨道与喷油器的重要燃油通道。

喷油时，流量限制器的喷油器端由于燃油的喷出，压力会下降，为使进入喷油器的燃油压力保持不变，轨道内的高压燃油应迅速向喷油器端补充，才能保证整个喷油过程中每一循环达到的喷油压力保持不变，都在高压下进行。如果燃油喷出后，不能及时补充燃油，喷油器端就会产生压力降，下一循环的喷油压力就会降低，这样，不能保证每次喷油都是在相同压力下进行。通常喷油器端因喷油引起压力下降的同时，活塞 3 的另一端由于轨道压力基本不变，因此产生了压差，活塞在轨道压力的作用下克服了弹簧 4 的压力，向喷油器端移动，活塞移动所让出的空间，能从轨道内获得相同排量的油量来补充喷出的油量。

在补充的油量由进油孔 1 进入流量限制阀后，会从中心孔 9 经节流孔 8 流入弹簧室内，使活塞上下承受着相同的燃油压力，因此，喷油后能恢复到平衡状态，但由于弹簧 4 的作用，又会将活塞 3 压回到与限位块 2 相接触的位置。

由于喷出的油量能及时补充，因此在喷油后不会产生压降，这样就确保每循环喷油都是在相同的高压下进行的。

通常，喷油过程结束，活塞移动停止，由于每循环喷油量很小，所以直到喷油终点，活塞的移动量不大，到达不了关闭座面 7 的位置。在活塞向上回位过程中，轨道内的高压燃油会很快从节流孔 8 流入弹簧室，补充活塞向上移动时所让出的空间。使联接喷油器端的燃油压力又恢复到喷油前的水平，为下一次喷油做好准备，这样能保证每循环喷油压力的一致性。

在运行中如出现下列故障时，流量限制阀会自动停止供油，以防止发生严重事故。

a. 燃油大量泄漏时的故障运行情况。燃油由轨道从喷油器喷出，必经流量限制阀座面 7 处的通道。当燃油从轨道中流入流量限制阀时，会把活塞 3 推离限位块 2，燃油流入量越

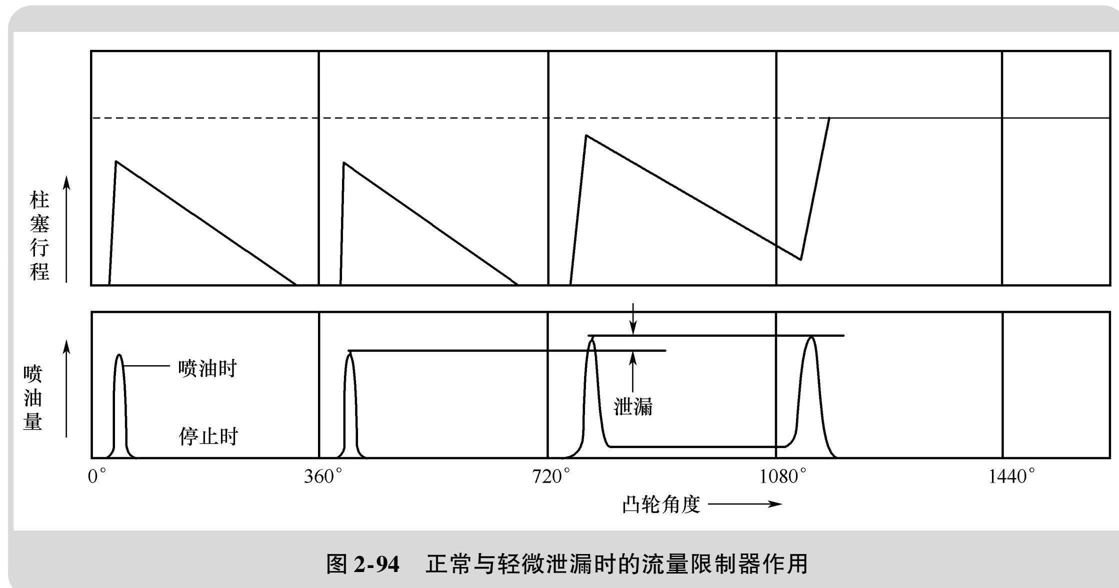
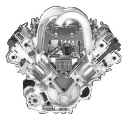


图 2-94　正常与轻微泄漏时的流量限制器作用



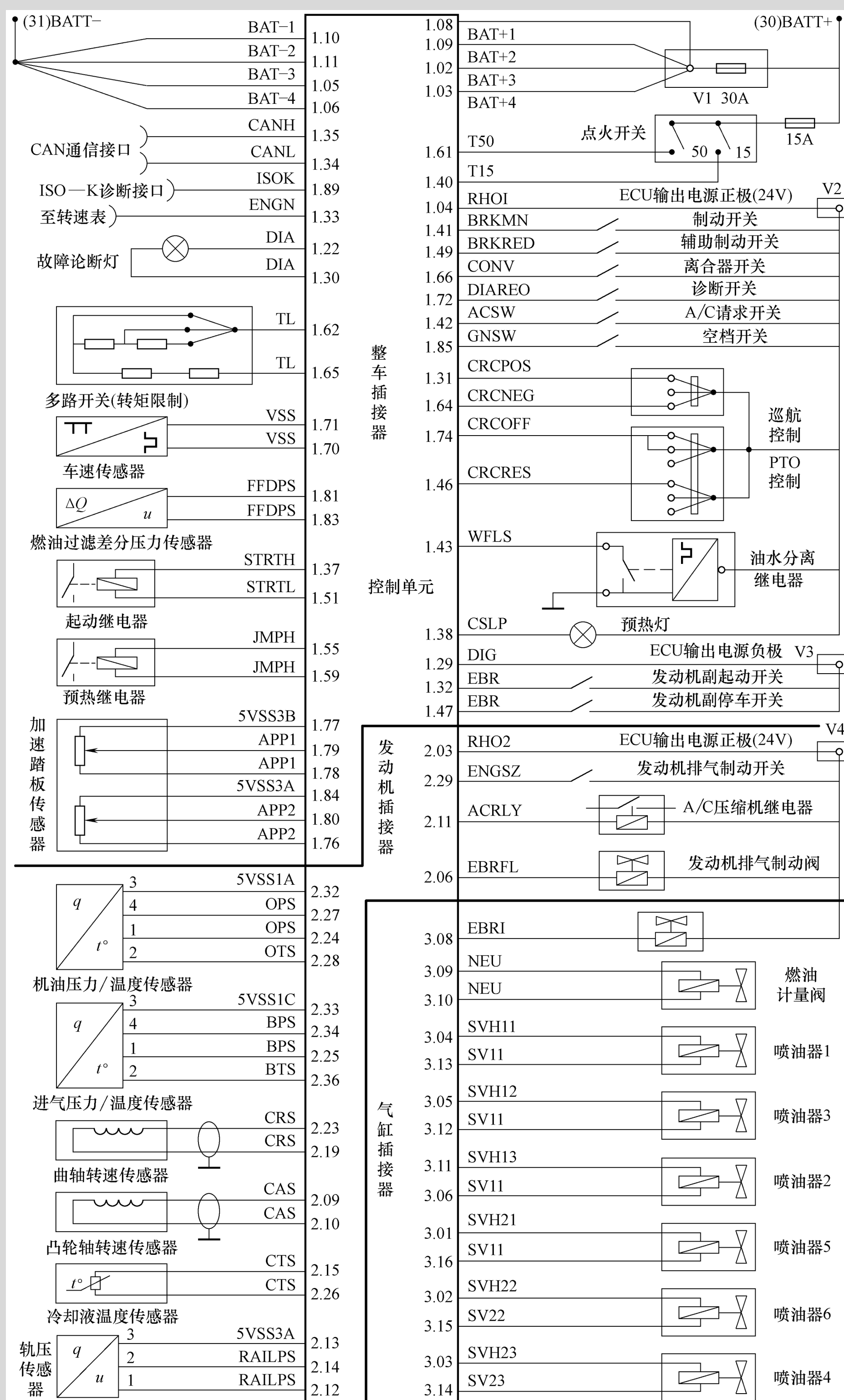


图 2-95 6DL2/6DF3 柴油机高压共轨电控电路图



多，活塞行程越大，会被推向更远离限位块的位置，而同时活塞 3 的座面通道愈小。当燃油流入量超过极限值时，活塞会下移到座面关闭位置，从而能阻挡燃油流向喷油器，使柴油机停机。

b. 燃油少量泄漏时的故障运行情况。燃油从轨道流入流量限制阀，再从流量限制阀流出，经喷油器喷射，当流入量和流出量相等时，每次喷油后，活塞 3 总能回到与限位块 2 的接触位置。但若轨道流入量增加，而流出量不变，则将出现进的多、出的少的现象。每次喷油后，活塞 3 就无法再回到与限位块相接触的位置。这时由轨道泄漏进入流量限制阀的燃油，即使每次量不多，但也会使活塞 3 无法再回到与限位块 2 的接触位置，连续几次喷油后，泄漏量的积累，也会把活塞压到关闭座面的位置（图 2-94），从而切断燃油流向喷油器，也能使柴油机停机。

三、博世共轨电控系统典型电路图

1. 六缸柴油机电控电路

（1）6DL2/6DF3 电控电路图　图 2-95 为 6DL2/6DF3 柴油机电控电路图。

（2）6DL2/6DF3 电控单元插接器　图 2-96 为 6DL2/6DF3 电控单元插接器。

（3）6DL2/6DF3 电控单元端子功能　6DL2/6DF3 电控单元端子功能见表 2-1。

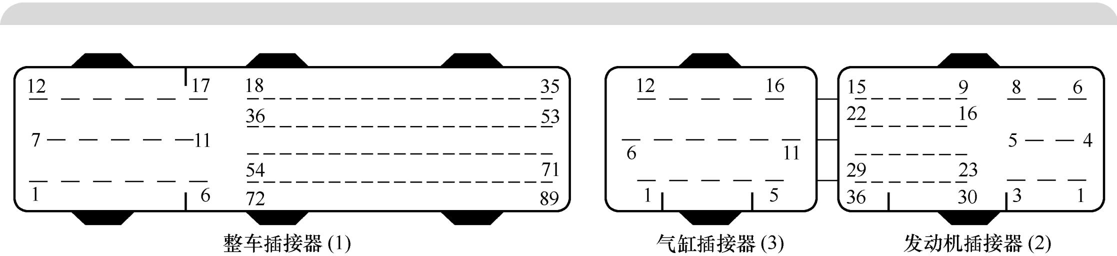
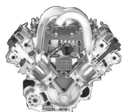


图 2-96　6DL2/6DF3 电控单元插接器

表 2-1　发动机 ECU 端子符号意义

	端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
整车插接器(1)	1.02	BAT +3	蓄电池电源	24	永久
	1.03	BAT +4	蓄电池电源	24	永久
	1.04	RHOI	电脑输出正极	24	ON 时对 BAT −
	1.05	BAT −3	蓄电池负极	0	永久
	1.06	BAT −4	蓄电池负极	0	永久
	1.08	BAT +1	蓄电池电源	24	永久
	1.09	BAT +2	蓄电池电源	24	永久
	1.10	BAT −1	蓄电池负极	0	永久
	1.11	BAT −2	蓄电池负极	0	永久
	1.22	DIA	故障灯控制 +	24	ON 和系统故障时
	1.29	DIA	电脑输出搭铁	0	ON 时对正极



（续）

	端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
整车插接器(1)	1.30	DIA	故障灯控制 -	0	ON 和系统故障时
	1.31	CRCPOS	巡航设置/加速开关信号 +	24	巡航开关操作时
	1.32	EBR	排气制动开关信号 +	24	ON 时对搭铁
	1.33	ENGN	电脑输出转速信号	脉冲信号	发动机工作时
	1.34	CAN - L	CAN 通信接口		
	1.35	CAN - H	CAN 通信接口		
	1.37	STRTH	起动继电器控制 +	24	起动时
	1.38	CSLP	预热指示灯 -	0	预热期间对正极
	1.40	T15	点火开关供电	24	点火开关(运行档)
	1.41	BRKMN	主制动开关 +	24	踏下制动开关时
	1.42	ACSW	空调请求信号 +	24	打开空调开关时
	1.43	WFLS	油水分离器信号 -	0	含水量高时
	1.46	CRCRES	巡航恢复开关信号 +	24	副停止开关操作时
	1.47	EBR	发动机副停止开关 -	0	副停止开关操作时
	1.49	BRKRED	辅助制动开关 +	24	未踏下制动开关
	1.51	STRTL	起动继电器控制 -	0	点火开关(起动档)
	1.55	JMPH	预热继电器控制 +		预热期间
	1.59	JMPH	预热继电器控制 -		预热期间
	1.61	T50	起动信号	24	点火开关(起动档)
	1.62	TL	转矩限制多档开关信号	0.9~2.9	操作开关时
	1.64	CRCNEG	巡航设置/减速开关信号 +	24	巡航开关操作时
	1.65	TL	转矩限制多档开关 -	0	点火开关(运行档)
	1.66	CONV	离合器开关 +	24	未踏下离合器开关
	1.70	VSS	车速传感器信号		车辆移动时
	1.71	VSS	车速传感器信号		车辆移动时
	1.72	DIAREO	诊断开关 +	24	操作开关时
	1.74	CRCOFF	巡航关闭开关信号 +	24	巡航开关操作时
	1.76	APP2	加速踏板传感器 2 -	0	点火开关(运行档)
	1.77	5VAPP	加速踏板传感器 1 +	5	点火开关(运行档)
	1.78	APP1	加速踏板传感器 1 -	0	点火开关(运行档)
	1.79	APP1	加速踏板传感器 1 信号	0.5~4.95	工作期间
	1.80	APP2	加速踏板传感器 2 信号	0.5~4.95	工作期间
	1.81	FFDPS	燃油过滤差分传感器		
	1.83	FFDPS	燃油过滤差分传感器 -		点火开关(运行档)
	1.84	5VAPP2	加速踏板传感器 2 +	5	点火开关(运行档)
	1.85	GNSW	空档开关信号 +	24	非空档时
	1.89	ISO—K	ISO—K 诊断接口		



（续）

	端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
发动机插接器（2）	2.03	RH02	电脑输出正 +	24	点火开关(运行档)
	2.06	EBRFL	排气制动阀控制 -	0	操作开关时
	2.09	CAS	凸轮轴转速传感器信号	交流电压信号	发动机运转时
	2.10	CAS	凸轮轴转速传感器信号	交流电压信号	发动机运转时
	2.11	ACRLY	A/C 压缩机继电器控制 -	0	打开 A/C 开关时
	2.12	RAILPS	轨压传感器 -	0	点火开关(运行档)
	213	5VRAILPS	轨压传感器 +	5	点火开关(运行档)
	2.14	RAILPS	轨压传感器信号 +	0.5 ~4.95	发动机运转时
	2.15	CTS	冷却液温度传感器信号 +	0.5 ~4.95	点火开关 ON 和运行
	2.19	CRS	曲轴转速传感器信号	交流电压信号	发动机运转时
	2.23	CRS	曲轴转速传感器信号	交流电压信号	发动机运转时
	2.24	OPS	机油压力传感器 -	0	点火开关(运行档)
	2.25	BPS	进气压力传感器 -	0	点火开关(运行档)
	2.26	CTS	冷却液温度传感器 -		
	2.27	OPS	机油压力传感器信号 +	0.5 ~4.95	点火开关 ON 和运行
	2.28	OTS	机油压力传感器信号 +	0.5 ~4.95	点火开关 ON 和运行
	2.29	ENGSA	副起动开关信号 +	24	操作开关时
	2.32	5VOPS	机油压力传感器 +	5	点火开关(运行档)
	2.33	5VOPS	进气压力传感器 +	5	点火开关(运行档)
	2.34	BPS	进气压力传感器信号 +	0.5 ~4.95	点火开关 ON 和运行
	2.36	BTS	进气温度信号 +	0.5 ~4.95	点火开关 ON 和运行
气缸插接器（3）	3.01	SVH21	5 号喷油器 +		发动机运转时
	3.02	SVH22	6 号喷油器 +		发动机运转时
	3.03	SVH23	4 号喷油器 +		发动机运转时
	3.04	SVH11	1 号喷油器 +		发动机运转时
	3.05	SVH12	3 号喷油器 +		发动机运转时
	3.06	SV11	2 号喷油器 -		发动机运转时
	3.08	EBRI	排气制动阀控制 -		
	3.09	MEU	燃油计量单元控制 +	占空比控制	发动机运转时
	3.10	MEU	燃油计量单元控制 -	占空比控制	发动机运转时
	3.11	SVH13	2 号喷油器 +		发动机运转时
	3.12	SV11	3 号喷油器 -		发动机运转时
	3.13	SV11	1 号喷油器 -		发动机运转时
	3.14	SV23	4 号喷油器 -		发动机运转时
	3.15	SV22	6 号喷油器 -		发动机运转时
	3.16	SV11	5 号喷油器 -		发动机运转时

2. 四缸柴油机电控电路图

（1）4DF3 电控电路图　图 2-97 为 4DF3 柴油机电控电路图。

(31)BATT−
BAT−1 K02
BAT−2 K04
BAT−3 K06
CAN通信
CANH K62
CANL K61
K线通信 COM1 K25
至转速表 ENGN K48
LIS K58
怠速开关
GNSW K79
空档开关
ECSTOPSW K87
发动机舱停止开关
DIAREO K65
诊断请求开关
FFRSW K52
燃油滤清器压差开关
加速度位置1
5VSS3B K22
APP1 K09
APP1 K30
加速度位置2
5VSS2C K46
APP2 K31
APP2 K08
多路开关(转矩限制)
TL K89
TL K86
车速输入信号
VSS K75
VSS K53
油压和油温传感器
q/t°
u
3 5VSS K24
4 OPS K32
1 OPS K33
2 OTS K66
风扇速度传感器
n
u
5VSS1C K23
FSS K84
FSS K59
排气温度传感器
t°
K34
K35
冷却液位置开关
k
u
FFDPS K64
FFDPS K63

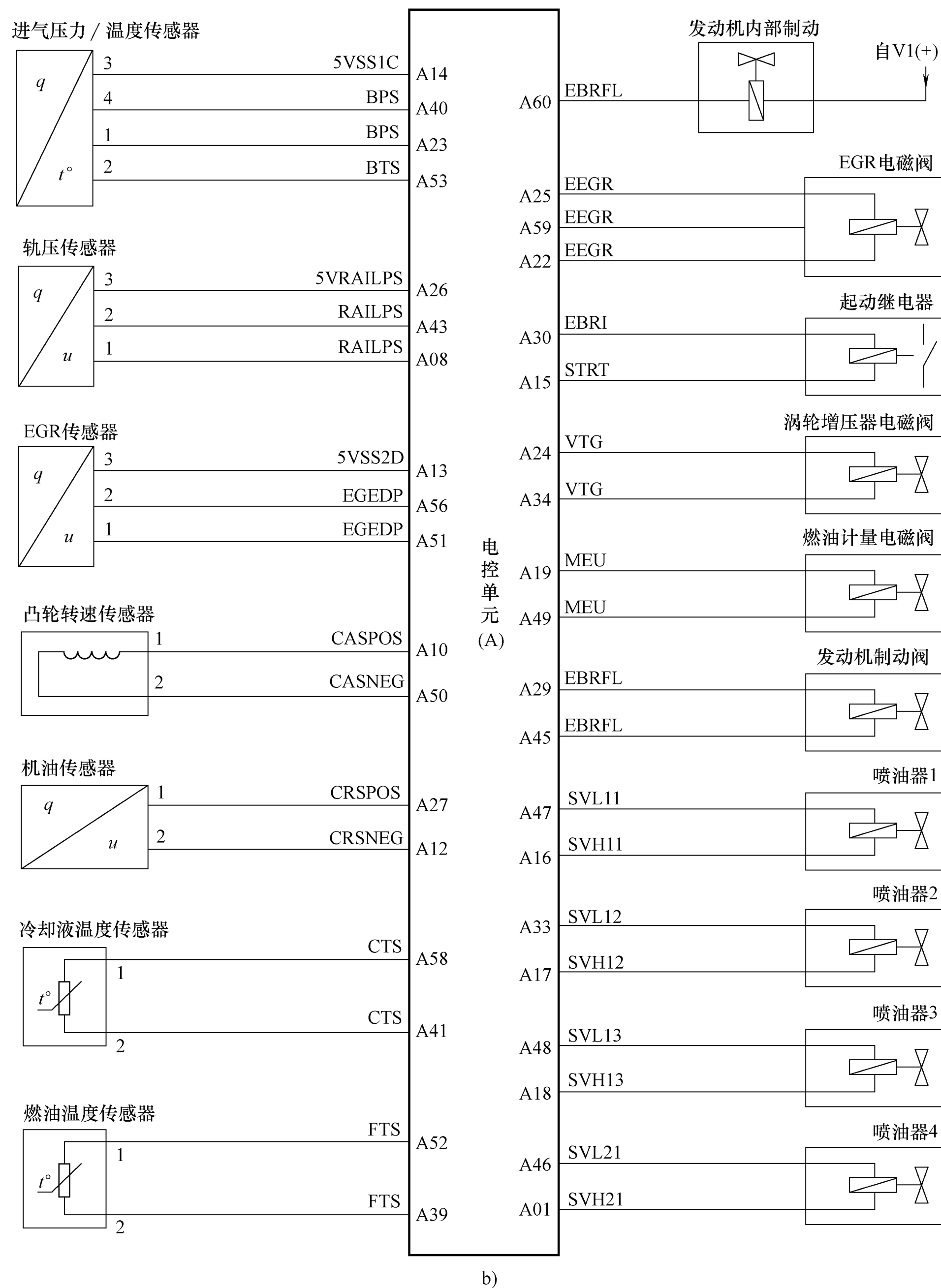
电控单元(K)

K01 BAT+1
K03 BAT+2
K05 BAT+3
V1
30A
87
30
(30)BATT+
K72 MRLY
85
86
主继电器
K70 TILPT
温度报警灯
K29 RHO8
V2
K92 CSLP
冷起动灯
K55 DIA
诊断灯
点火开关
K43 T50
50
15
K28 T15
7.5A
V3
10A
K17 BRKMN
制动主开关
K80 BRKRED
辅助制动开关
K40 CONV
离合器开关
K74 ECSTARTSW
发动机舱起动开关
K54 EBR
发动机制动开关
K56 CRCPOS
K78 CRCNEG
巡航控制
K38 CRCPOS
K77 CRCNEG
K93 FHRLY
85
30
燃油加热继电器
86
87
K07 RH06
V4
燃油加热器
85
30
格栅加热继电器
86
87
K68 IMPH
格栅加热器
K90 FAN
风扇
K73 RH07
M

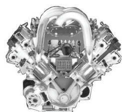
a)


图 2-97 4DF3 柴油机
a）K 端子





高压共轨电控电路图
b）A 端子



（2）4DF3 电控单元插接器　图 2-98 所示为 4DF3 电控单元插接器。

（3）4DF3 电控单元端子功能　4DF3 电控单元端子功能见表 2-2。

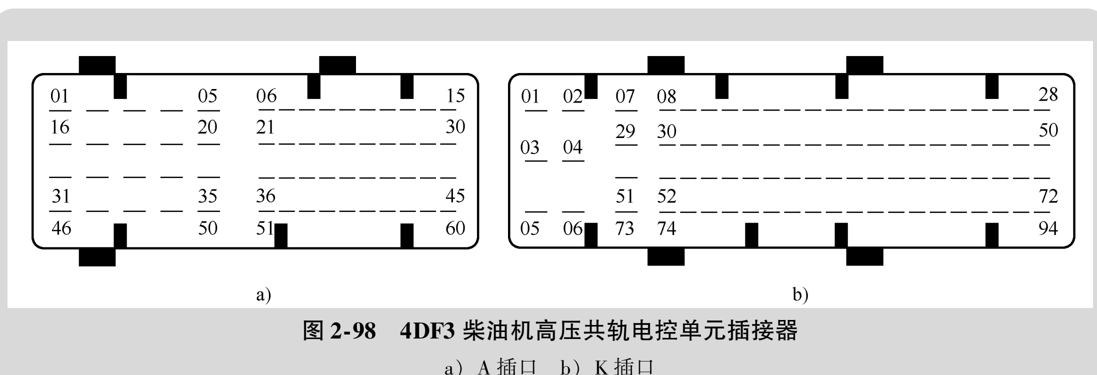


图 2-98　4DF3 柴油机高压共轨电控单元插接器

a）A 插口　b）K 插口

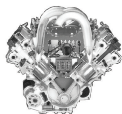
表 2-2　发动机 ECU 端子符号意义

端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
A01	SVH21	3 号喷油器 +		发动机运转时
A02	SVH22	4 号喷油器 +		发动机运转时
A08	RAILPS	轨压传感器 -		ON 时对电源正极
A10	CASPOS	凸轮轴转速传感器信号	交流电压信号	发动机运转时
A12	CRSNEG	曲轴转速传感器信号	交流电压信号	发动机运转时
A14	5VBPS	进气压力传感器 +	5	ON 和运行
A15	STRT	起动继电器控制	24	点火开关起动档
A16	SVH11	1 号喷油器 +		发动机运转时
A17	SVH12	2 号喷油器 +		发动机运转时
A19	MEU	燃油计量单元(阀) +		发动机运转时
A23	BPS	进气压力传感器 -	0	ON 和运行对正极
A26	5VRAILPS	轨压传感器 +	5	ON 和运行对搭铁
A27	CRSPOS	曲轴转速传感器信号	交流电压信号	发动机运转时
A29	EBRFL	排气制动阀控制	24	ON 和运行对搭铁
A30	STRT	起动继电器控制	24	ON 和运行对搭铁
A31	SVL22	4 号喷油器 -		发动机运转时
A33	SVL12	2 号喷油器 -		发动机运转时
A40	BPS	进气压力传感器信号	0. 5 ~ 4. 95	ON 和运行
A41	CTS	冷却液温度传感器 -	0	ON 和运行对正极
A43	RAILPS	轨压传感器信号	0. 5 ~ 4. 95	ON 和运行
A45	EBRFL	排气制动阀控制	0	排气制动开关打开
A46	SVL21	3 号喷油器 -		发动机运转时
A47	SVL11	1 号喷油器 -		发动机运转时
A49	MEU	燃油计量单元(阀) -	占空比控制	发动机运行
A50	CASNEG	凸轮轴传感器信号	交流电压信号	运行时
A53	BTS	进气压力传感器信号	0. 5 ~ 4. 95	ON 和运行
A58	CTS	冷却液温度传感器信号	0. 5 ~ 4. 95	ON 和运行



（续）

端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
K01	BAT +1	主继电器供电(+B)	24	ON 和运行
K02	BAT-1	搭铁	0	永久
K03	BAT +2	主继电器供电(+B)	24	ON 和运行
K04	BAT-2	搭铁	0	永久
K05	BAT +3	主继电器供电(+B)	24	ON 和运行
K06	BAT-3	搭铁	0	永久
K07		预热、空调继电器 +		ON 和运行
K08	APP2	油门传感器 2 -		对电源正极
K09	APP1	油门传感器 1 信号	0.5 ~4.95	ON 和运行
K17	BRKMN	主制动开关信号	24	踏下主制动开关
K22	5VAPP1	油门传感器 1 +	5	ON 和运行
K25	COM	诊断 K 线		
K28	T15	点火开关供电	24	ON 和运行
K29	RH08	预热指示灯 +	24	预热期间
K30	APP1	油门传感器 1 -	0	对电源正极
K31	APP2	油门传感器 2 信号	0.5 ~4.95	ON 和运行
K38	CRCRES	巡航恢复开关信号 +	24	操作开关时
K40	CONV	离合器开关信号	24	未踏下离合器开关
K43	ENGSA	起动开关信号	24	点火开关起动档
K46	5VAPP2	油门传感器 2 +	5	ON 和运行
K53	VSS	车速传感器信号	交流电压	车辆移动
K54	EBR	排气制动开关	24	操作开关时
K55	DIA	发动机故障灯控制 +	24	自检或系统故障时
K56	CRCPOS	巡航设置开关信号 +	24	操作开关时
K57		空调请求信号		打开 A/C 开关时
K61	CAN-L	CAN 通信		
K62	CAN-H	CAN 通信		
K65	DIAREO	诊断开关输入 -	0	操作诊断开关时
K68		预热继电器控制 -	0	预热期间
K72	MRLY	主继电器控制 -	0	ON 和运行
K74	ECSTARTSW	发动机舱起动开关 -	24	操作开关时
K75	VSS	车速传感器信号	交流电压	车辆移动
K77	CRCOFF	巡航取消开关信号 +	24	操作开关时
K78	CRCNFG	巡航设置开关信号 +	24	操作开关时
K79	GNSW	空档开关信号 -	0	空档时
K80	BRKRED	辅助制动开关	24	未踏下制动开关
K87	ECSTOPSW	发动机舱停车开关 -	0	操作开关时
K92	CSLP	预热指示灯 -	0	预热期间
K93		空调继电器控制 -		打开 A/C 开关后



第三节 电装电控高压共轨燃油系统的结构与原理

一、概述

1. 应用领域

日本电装公司（DENSO）是世界上著名的生产油泵、油嘴的公司之一。从 20 世纪 80 年代开始研制 ECD—U2 高压共轨喷油系统，到 90 年代初期开始尝试投放市场，1999 年已生产 3 万台。主要用于国内货车柴油机，在轿车柴油机中用量较少，1998 年在匈牙利设厂，计划年产 10 万台 ECU—U2（P）高压共轨燃油系统，用于欧洲轿车柴油发动机。2005 年，共轨式喷油系统的生产量已经超过 100 万台，其喷射压力已提升到 180MPa，取代了原有的 135MPa。我国许多重型货车也都装配了该燃油系统。

2. 特色

电装公司共轨式喷射系统有如下特色。

1）由于在所有运转范围均系高压喷射，故可得低排放污染及高输出，如图 2-99a 所示。

2）相对于发动机转速与负荷，可独立控制喷射压力，如图 2-99b 所示。

3）由于燃油喷射的控制，可减小噪声并降低排放污染，如图 2-99c 所示。

4）由于喷射正时的弹性变化，可提高发动机的性能，如图 2-99d 所示。

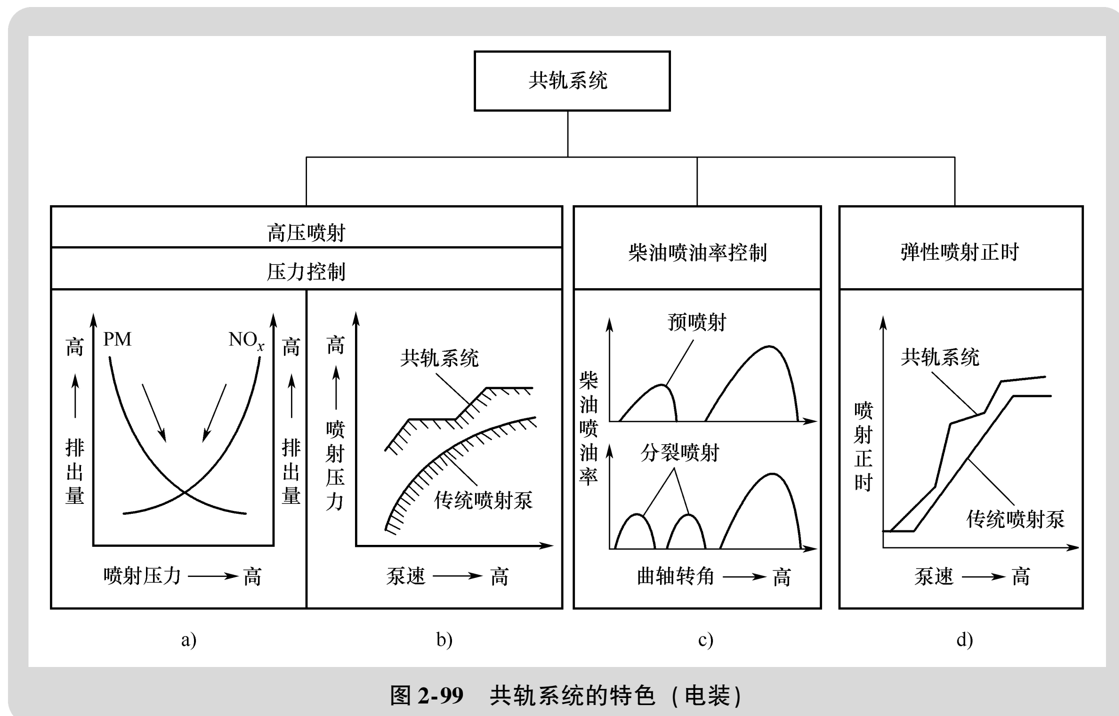


图 2-99 共轨系统的特色（电装）

3. 基本组成与功能

电装公司共轨式喷射系统的基本组成，如图 2-100 所示。**该系统由高压供油泵、共轨**



管、喷油器、电子控制器（ECU）和传感器组成。大体可分为燃油系统与电脑控制系统两大部分。

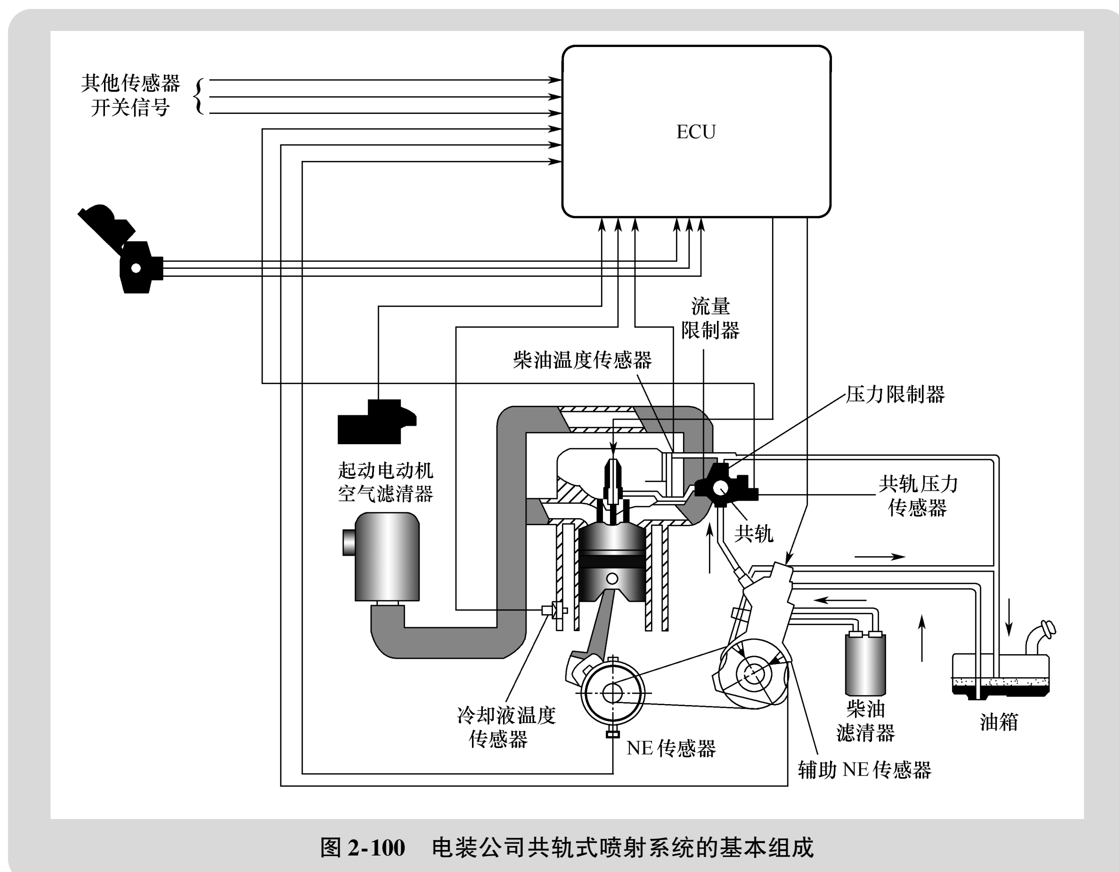


图 2-100　电装公司共轨式喷射系统的基本组成

（1）燃油系统的基本作用　燃油系统的基本作用如图 2-101 所示。高压柴油由高压泵产生，送至共轨，喷油器内的电磁阀使喷油嘴的针阀打开或关闭，以控制喷油开始或结束。具体作用如下。

注意

1）高压泵产生的油压送入共轨内，油压的大小由 ECU 所控制的泵控制阀（PCV）的打开与关闭所调节。

2）共轨内的油压是由装在共轨上的油压传感器进行监测的，以使实际的压力与所要求的压力吻合。

3）共轨内柴油送入喷油器内的喷油嘴与控制油腔内。喷油时间与喷油量由双向阀的电磁阀的打开与关闭控制。当电磁阀通电时，量孔 2 上方的油路打开，控制油腔内的柴油从量孔 2 流出，故喷油嘴针阀被油压向上推，柴油开始喷射；当电磁阀断电时，柴油从量孔 1 进入控制油腔，针阀下移，柴油结束喷射。

4）因此，电磁阀通电时，即决定柴油的喷射开始时间；而电磁阀通电时间的长短，即决定柴油的喷射量。

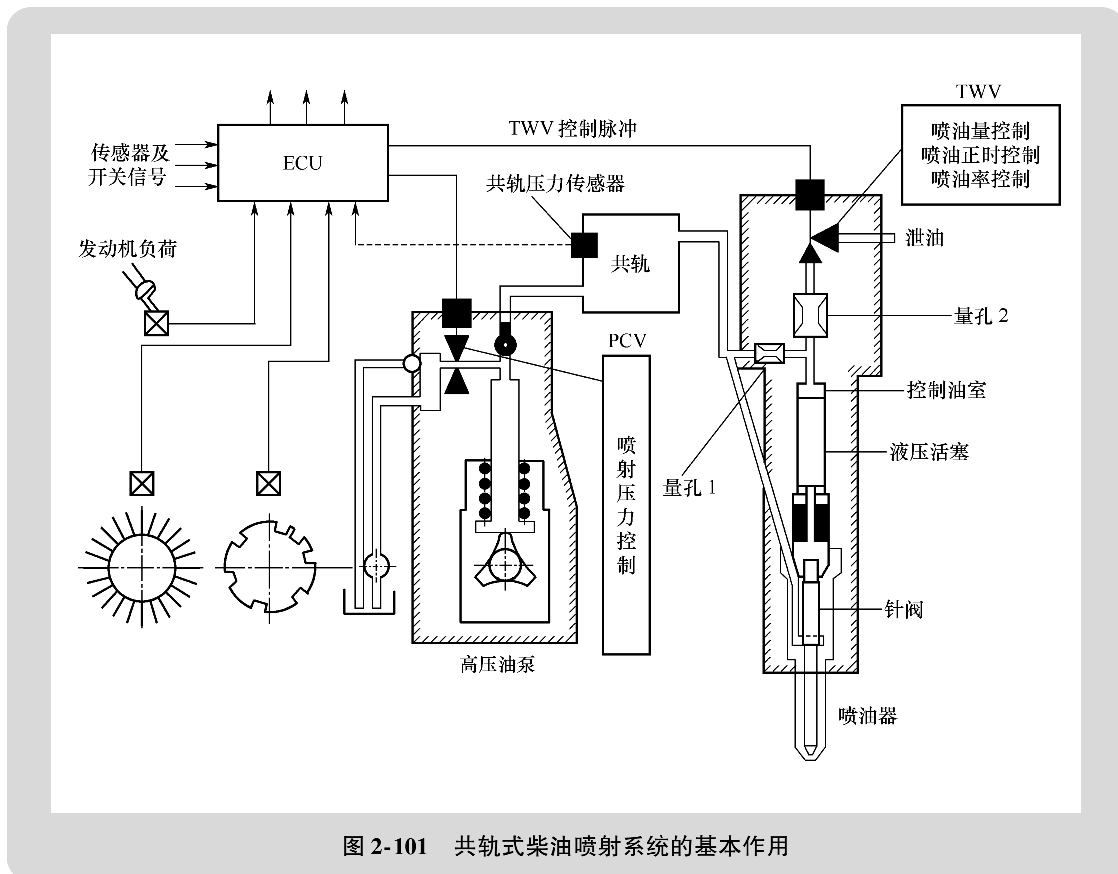


图 2-101　共轨式柴油喷射系统的基本作用

（2）电脑控制系统的基本作用　电脑控制系统的基本作用，如图 2-102 所示。电子控制系统所控制的喷油量与喷油正时，比传统采用机械式调速器或正时器的喷油泵更精确。**ECU 通过各传感器及开关的信号，经必要的计算后，控制各喷油器电流的正时与持续的时间，及控制供油泵上压力控制阀，即可获得各种精确的控制。**

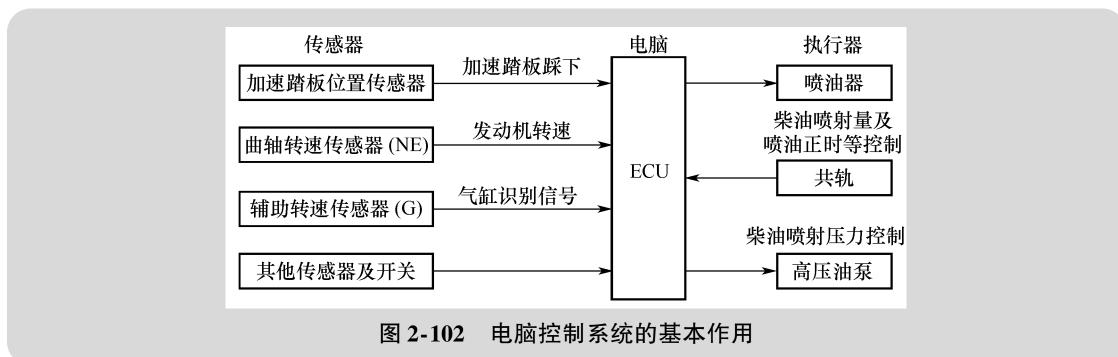


图 2-102　电脑控制系统的基本作用

1）出油率控制。**出油率控制系指在一定时间内，控制通过喷油孔柴油量的比例。**

① 主喷射。与传统式喷射系统的作用相同。

② 引燃喷射。

a. 在主喷射前，先将少量柴油喷入气缸中燃烧，如图 2-103 所示。



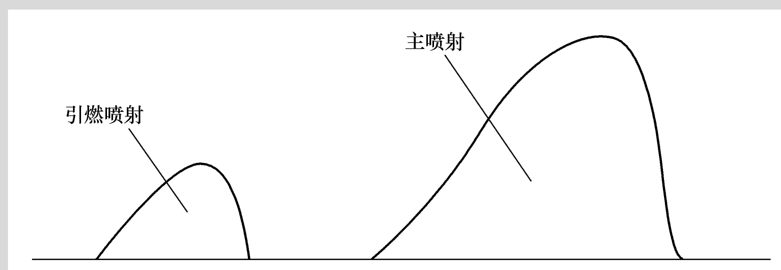


图 2-103 主喷射前的引燃喷射

b. 极高压力的喷射，会使出油率增加，造成初期累积在燃烧室的柴油量增加，大量柴油同时燃烧的结果，热产生率骤升，使 NO_x 与噪声提高。因此在主喷射前先行引燃喷射，喷出极少量刚好需要的柴油量，以缓和初期燃烧作用，可以减少 NO_x 与噪声，如图 2-104 所示。

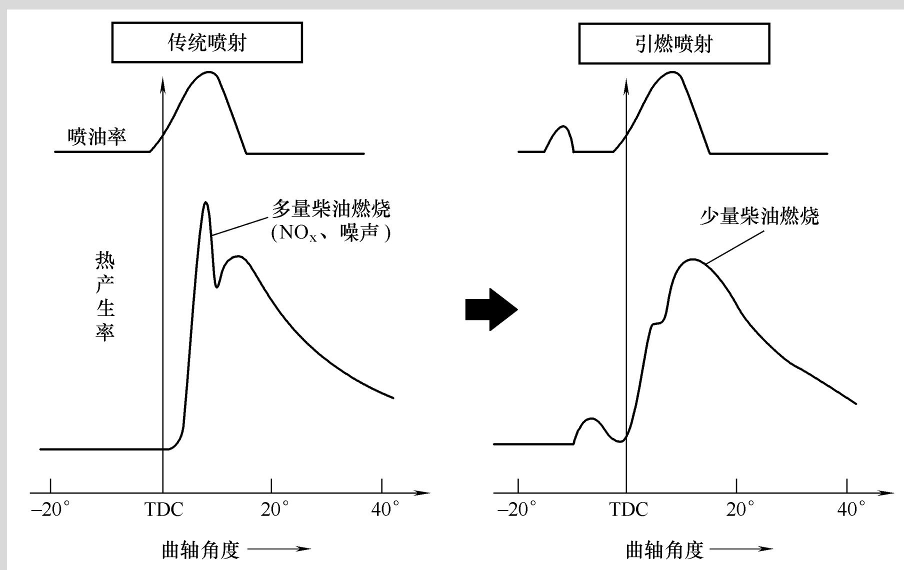


图 2-104 有、无引燃喷射作用的差异

③ 分段喷射。当发动机起动转速较低时，在主喷射前，会分成数次少量的柴油喷射，如图 2-105 所示。有预热塞装置时，则不需要少量喷射。

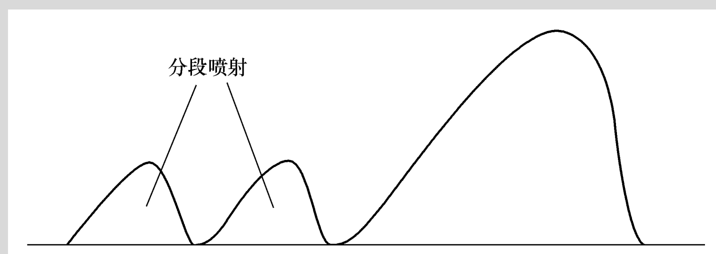
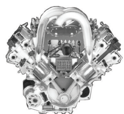


图 2-105 分段喷射的作用



2）喷油量控制。**取代传统式喷射系统的调速器，基本上根据发动机转速与加速踏板行程来精确控制喷油量。**

① 基础喷油量。由发动机转速与加速踏板行程决定。

② 起动喷油量。依发动机转速、冷却液温度等而定。

③ 瞬间喷油量修正。当猛踩加速踏板时，喷油量延迟增加，以抑制黑烟排放，如图2-106所示。

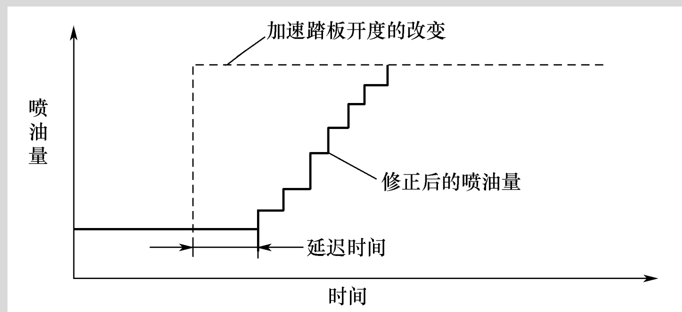


图 2-106　猛踩加速踏板时的喷油量修正

④ 最高转速设定喷油量。相对发动机的最高转速，调节喷油量至一定值，发动机超速时即断油。

⑤ 最大喷油量限制。当进气压力低时，限制最大喷油量，使黑烟排放减至最小。

⑥ 怠速转速控制。调节喷油量，控制怠速转速，以符合目标转速。怠速转速控制（ISC）可分成：

a. 自动 ISC。根据冷却液温度控制怠速转速。

b. 手动 ISC。由驾驶室内旋钮调整怠速。

⑦ 自动巡航控制。调节喷油量控制车速，以符合经电脑计算后的目标速度。

3）喷油正时控制。**取代传统喷射系统的正时器，基本上根据发动机转速与喷油量来精确控制柴油的喷射正时。**

① 引燃喷射正时。根据最后喷油量、发动机转速及冷却液温度而定。当在起动时，则根据冷却液温度及发动机转速来决定。

② 主喷射正时。根据最后喷油量、发动机转速及冷却液温度而定。当在起动时，则依冷却液温度及发动机转速来决定。

4）喷射压力控制。**根据最后喷油量及发动机转速计算压力值，如图 2-107 所示。当在起动时，则根据冷却液温度及发动机转速来决定。**

电装公司高压共轨燃油系统中除了提供喷油量控制、喷射正时控制、喷射压力控制等功能外，还提供以下功能。

①自诊断及报警功能。针对电控系统中主要的传感器和执行器超出正常工作参数范围以外时，通过显示装置进行报警。

② 失效安全功能。依问题之所在，必要时使发动机熄火。

③ 备用功能。可以改变柴油的调节方法，使发动机能继续运转。



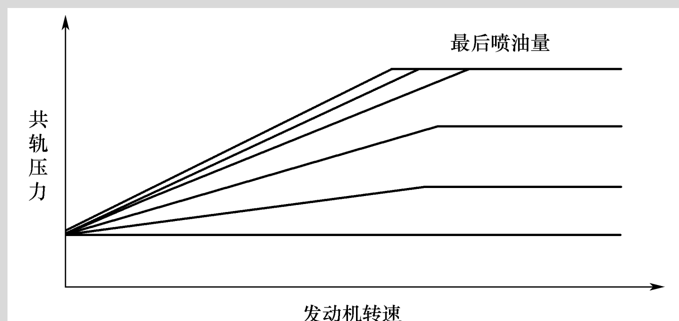


图 2-107 喷射压力控制

二、高压共轨燃油系统的构造与原理

电控高压共轨燃油系统为蓄压式共轨系统，**该系统主要由燃油箱、柴油滤清器、供油泵（包括内置式输油泵）、高低压燃油管、油轨、电控喷油器和 ECU 等组成。**图 2-108 所示为燃油系统基本工作原理框图。各主要零部件的结构与原理如下。

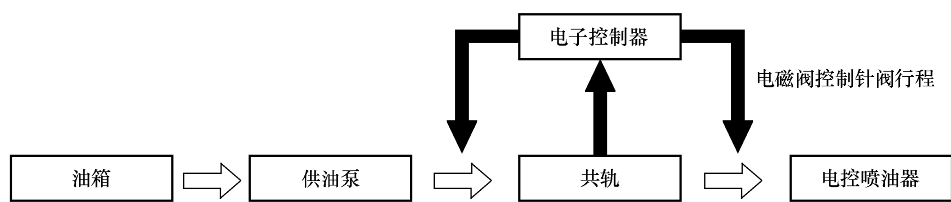


图 2-108 共轨燃油系统工作原理框图

1. 摆动式燃油泵

装在高压泵内，由凸轮轴驱动，从油箱吸出柴油，经柴油滤清器后，送入高压泵柱塞内。图 2-109 所示为摆动式燃油泵的构造及作用。

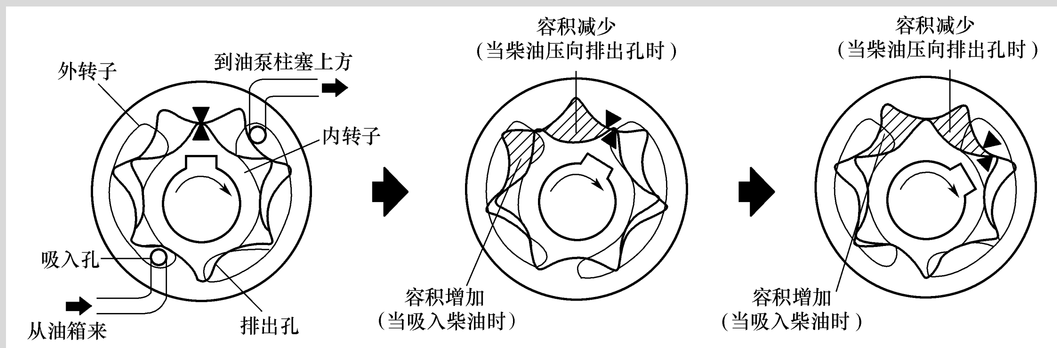
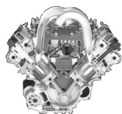


图 2-109 摆动式燃油泵的构造及作用

2. 高压泵

电装公司的供油泵从 20 世纪 90 年代开始研发，到 2001 年是第一阶段，也即第一代产



品，主要有直列泵型的 HP0 型供油泵系列。HP0 系列供油泵有 HP0—UHD、HP0—HD 和 HP0—MD 型，也包括 ECD—U2（P）型。电控共轨系统使用的 HP2 型供油泵，供油压力从 1998 年之前的 120MPa 到 2000 年以后提高到 145MPa。

从 2002 年开始到 2006 年是第二阶段，即第二代产品，其特征是 HP0 系列供油泵的供油压力提高到 180MPa，推出了 ECD—U2（P）用的转子式供油泵—HP3 和 HP4，在转子式供油泵中全部采用进油计量，供油压力均为 180MPa。

1）任务。**供油泵的主要作用是将低压燃油加压成高压燃油，并将高压燃油供给并储存在共轨内，等待 ECU 的喷射指令。**供油压力可以通过压力限制器进行设定，所以，在共轨系统中可以自由地控制喷油压力。

HP0 系列供油泵的主要特征如下。

① 可靠性高。可以满足高供油压力的要求：第一阶段，120～140MPa；第二阶段，160～180MPa；采用机油润滑，使用寿命长，使用过程中故障少。

② 效率高。因为采用电磁阀控制预行程，只对需要的供油量做功，不必对多余的燃油进行加压；实现同步控制，一副柱塞偶件用三个凸轮完成压油。

③ 成本低。不同的发动机可以选用不同的供油泵。一般说来，大型柴油机选用类似于直列泵的供油泵，小型柴油机可以选用类似于分配泵的转子式供油泵。

2）供油泵结构与原理。图 2-110 所示为 HP0 系列供油泵的外形。其各部件的结构与工作原理如下。

输油泵，位于高压油泵的左侧，与高压油泵集成在一起，提供高压油泵一定压力的燃油。

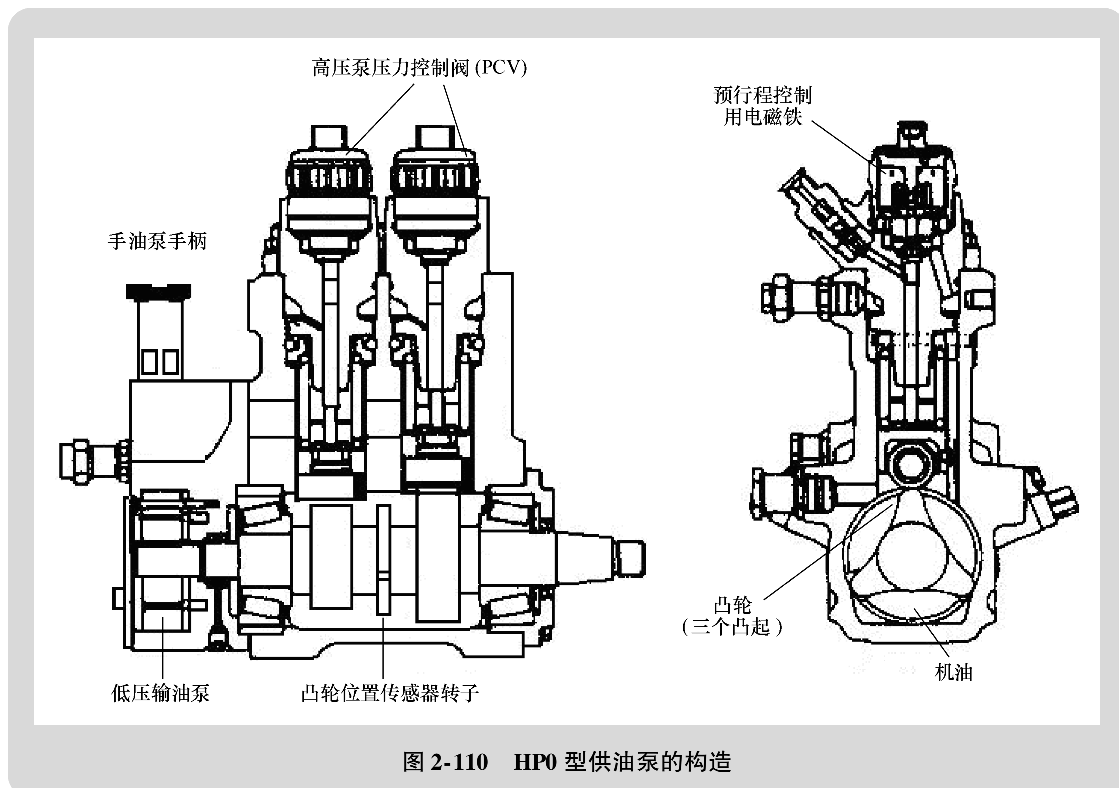


图 2-110　HP0 型供油泵的构造



燃油计量单元（PCV 电磁阀）为压力控制阀，高压油轨内的压力因供油、渗漏、回油等因素导致压力波动，通过压力控制阀可保持压力的稳定。该阀实际为一执行器，在断电状态下，靠弹簧作用力，阀处于全开状态；当通电后电磁阀动作，克服弹簧力，将阀关闭。在柴油机起动或运转时，根据 ECU 的指令来控制电磁阀的动作，保证高压油轨内压力稳定在规定要求。

凸轮轴位置传感器用于判断发动机第 1 缸压缩上止点的到来时刻，作为喷油的基准信号，在曲轴转速传感器故障时可以维持发动机跛行功能。

供油泵产生的高压燃油经共轨分配到各个气缸的喷油器中，燃油压力由设置在共轨内的压力传感器检出，反馈到控制系统，并使实际压力值和事先设定的、与发动机转速和发动机负荷相适应的压力值始终一致。

HP0 型直列式供油泵结构和传统的直列式喷油泵相似，通过凸轮和柱塞机构使燃油增压，各柱塞上方配置供油阀。凸轮有单作用型、双作用型、三作用型和四作用型等多种；采用三作用型凸轮可使柱塞单元减少到 1/3。向共轨中供油的频率应和喷油频率相同，这样可使共轨中的压力波动平稳。HP0 型供油泵的基本工作原理如图 2-111 所示。

高压泵的工作过程如下。

① 当柱塞下行，PCV 控制阀保持打开状态，低压燃油经控制阀被吸入柱塞上方，如图 2-111a 所示。

② 即使柱塞上行，但 PCV 控制阀中尚未通电，控制阀仍处于开启状态，原来被吸入的柴油并未升压，会经 PCV 控制阀被压回低压腔，如图 2-111b 所示。

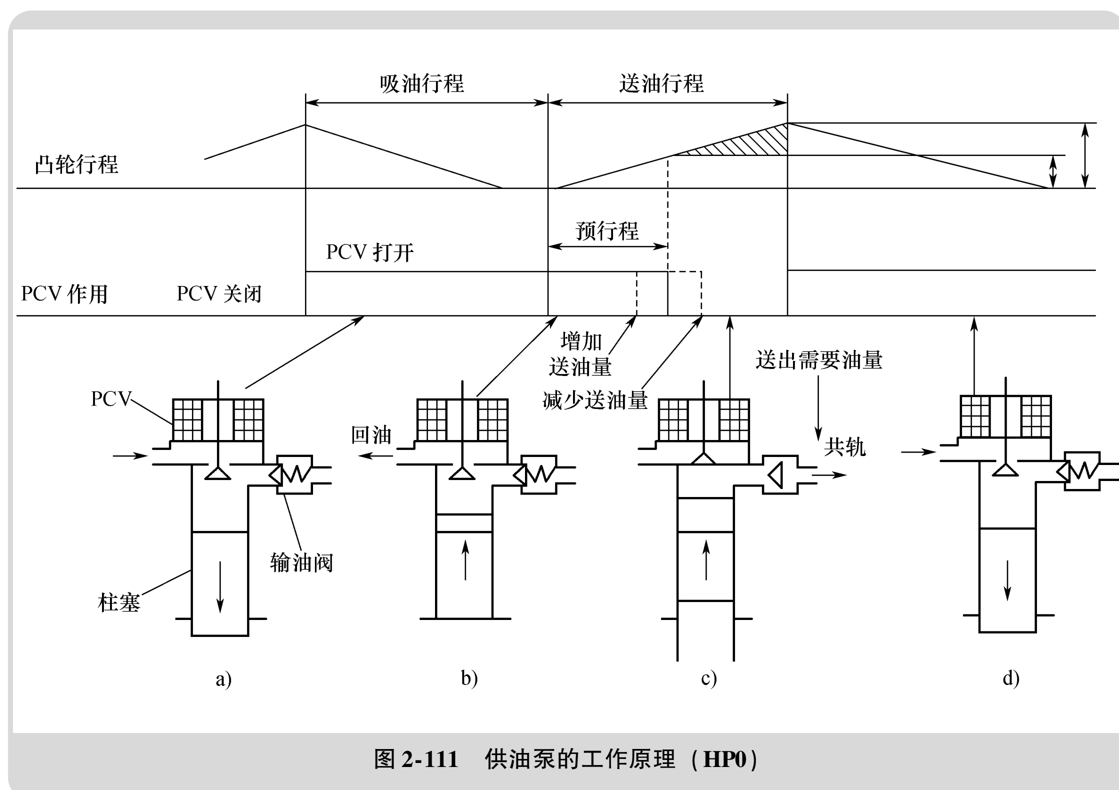
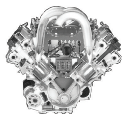


图 2-111　供油泵的工作原理（HP0）



③ ECU 计算出满足必要的供油量时，适时地向 PCV 控制阀供电，控制阀关闭，切断回油流路，柴油被柱塞压缩，柱塞腔内燃油增压，因此，高压燃油经出油阀（单向阀）压入共轨内，如图 2-111c 所示；控制阀开启后的柱塞行程与供油量对应。因此变化 PCV 的通电时间，即可改变送油量，则供油量随之改变，从而可以控制共轨压力。

④ 凸轮越过最大升程后，则柱塞进入下降行程，柱塞腔内的压力降低；这时出油阀关闭，压油停止；控制阀处于断电状态，控制阀开启，低压燃油再度被吸入柱塞上方，恢复到图 2-111d 所示状态。

由以上说明可以得知，PCV 控制阀调节送出的柴油量，以调整共轨内的油压，故控制阀通电时间的长短，即可控制共轨内压力的大小。

特别值得指出的是，在 HP0 型供油泵中，PCV 控制阀采用螺旋形磁铁，取代了传统的菱形磁铁，使得结构得到改善，性能提高。

电装公司的第二代供油泵采用转子式，如图 2-112 所示。

HP4 型转子式供油泵的体积更小、结构更加紧凑，采用进油计量法。HP3 型和 HP4 型供油泵的设计充分考虑到标准化，两种供油泵的零部件通用化率达到 80%。供油部分基本是通用的，充分考虑到生产工艺性；2 缸和 3 缸形成系列，如图 2-113 所示。

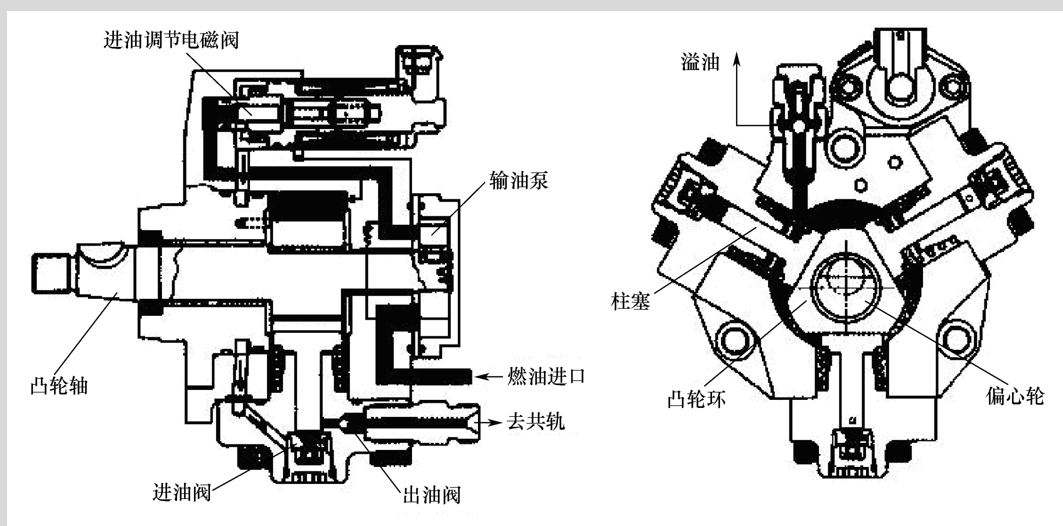


图 2-112 HP4 型转子式供油泵的构造

3. 燃油压力控制阀

1）任务。**燃油压力控制阀（PCV）的作用是根据 ECU 送来的控制信号，用于调整共轨内的燃油压力，使供油阀在适当的时刻开启或关闭来控制供油量，最终控制共轨内的燃油压力。**

2）结构与原理。电装公司 ECD—U2 系统的供油泵燃油压力控制阀的安装位置和外形如图 2-114 所示。燃油压力控制阀（PCV）的工作原理已在供油泵工作原理中介绍，这里不再赘述。



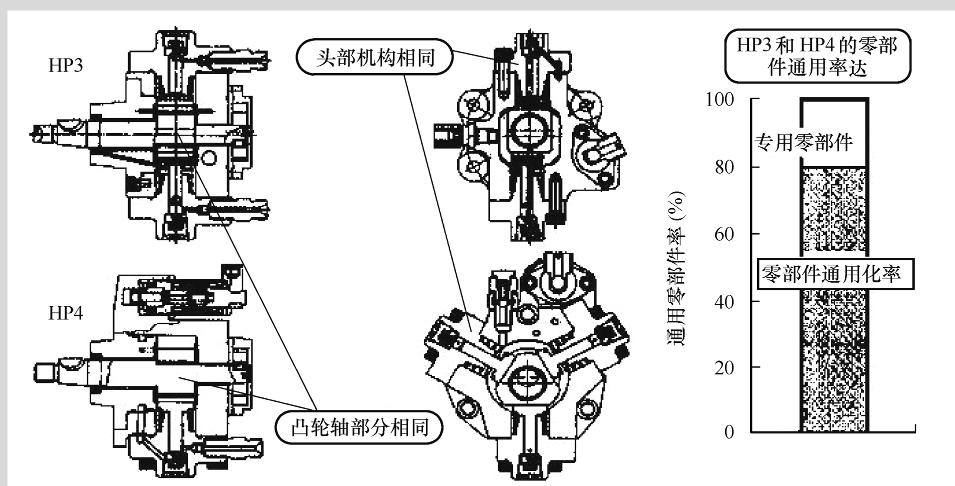


图 2-113　HP3 型和 HP4 型供油泵的标准化设计

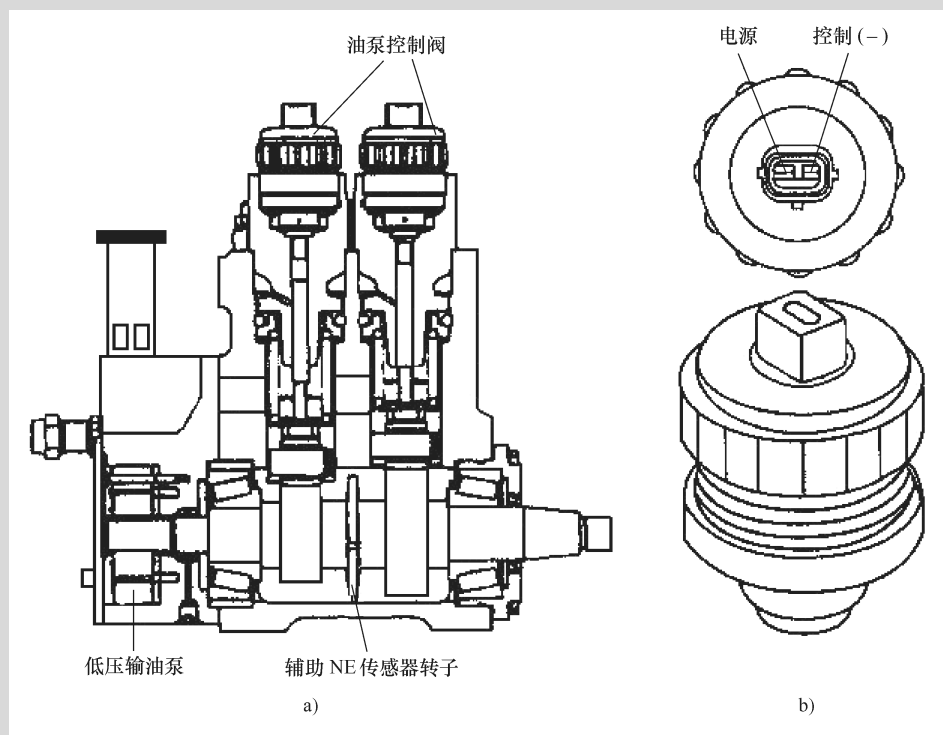
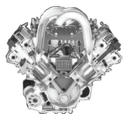


图 2-114　供油泵上控制阀的位置与外形

a）供油泵控制阀的安装位置　b）供油泵控制阀（PCV）

4. 电控喷油器

1）任务。**ECU 依据各种传感器及开关信号，控制电控喷油器在正确时间喷油，喷射正**



确的柴油量，以达到正确的出油率以及良好的雾化效果。

2）结构与原理。图 2-115 所示为电装公司二通阀电控喷油器的结构，可分为二通电磁阀（双向电磁阀）、液压活塞和喷油器三部分。

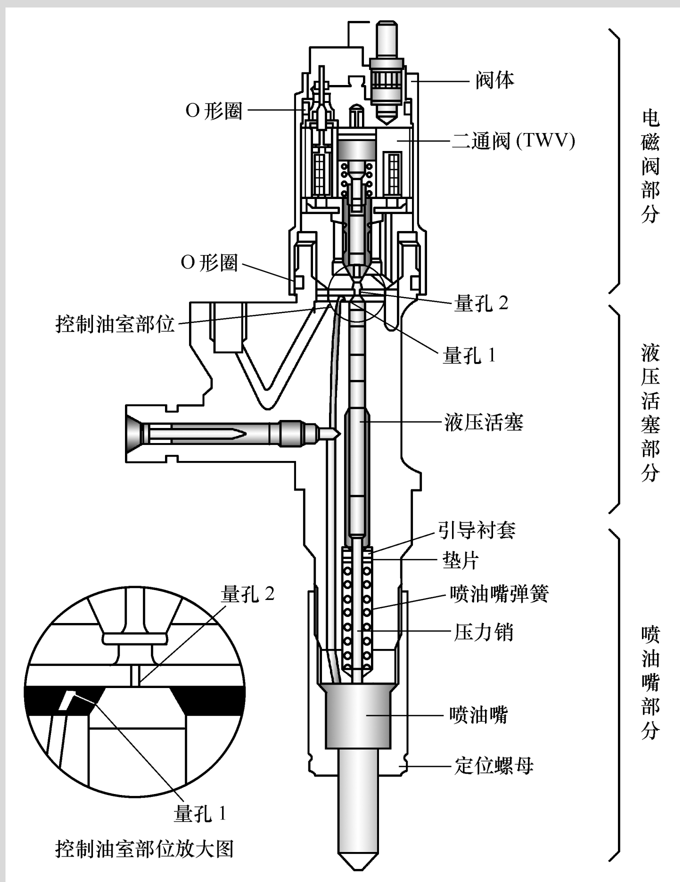


图 2-115　电控喷油器的结构

电磁阀受电控单元（ECU）的控制改变油腔内压力，以控制喷油开始及喷射结束时刻，如图 2-116 所示。量孔用以限制喷油嘴针阀打开的速度，以调节出油率；液压活塞用以传送从控制油腔来的压力给喷油嘴针阀；而喷油嘴则用以使柴油雾化，功能与传统式喷油嘴相同。

喷油器电磁阀的阀门部分由两个阀所组成，如图 2-117 所示。内阀固定，外阀可以滑动，两个阀精密装配在同轴上，电磁阀受电控单元（ECU）控制，一般有三个过程。

① 不喷射。当电磁阀不通电时，阀弹簧力及液压力使外阀向下，外阀座封闭，由于共轨高压经量孔 1 进入控制油腔，故喷油嘴针阀在关闭状态，此时不喷油，如图 2-117a 示。

② 开始喷油。当电磁阀通电时，电磁吸力使外阀向上，外阀座打开，控制油室内柴油从量孔 2 流出，喷油嘴针阀向上，开始喷射柴油，如图 2-117b 所示。接着出油率逐渐增加，直至达最大出油率。



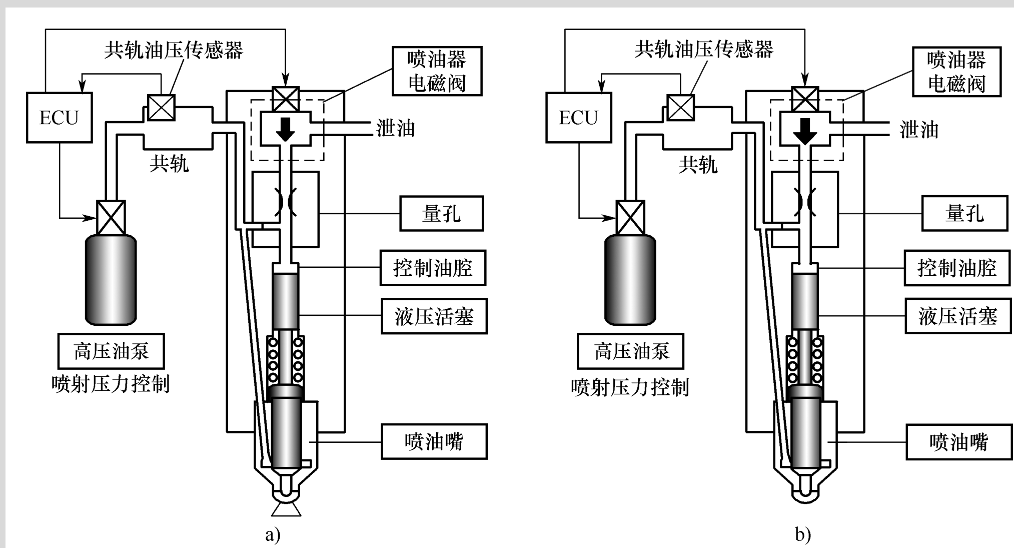


图 2-116　喷油器电磁阀 ON 和 OFF 时的作用

a）喷射开始（电磁阀有电）　b）喷射结束（电磁阀断电）

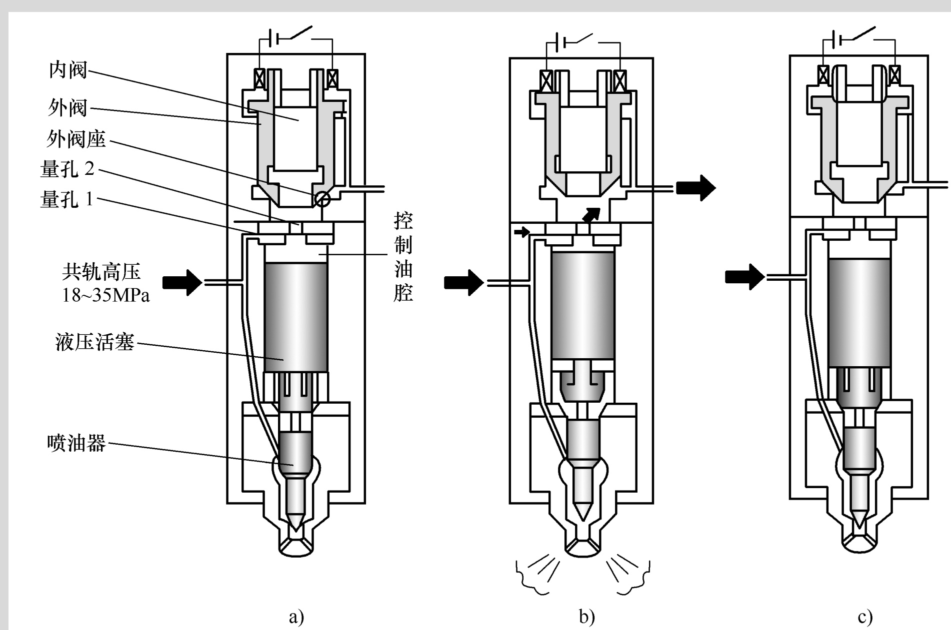
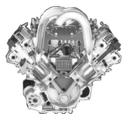


图 2-117　电磁阀的构造与喷油器的作用

a）不喷射　b）开始喷射　c）结束喷射



③ 结束喷油。当电磁阀断电时，阀弹簧力及液压力使外阀向下，外阀座封闭，此时由共轨来的高压柴油，立即进入控制油腔，使喷油嘴针阀向下，结束喷油行程，如图2-117c所示。

电控喷油器中由电磁阀直接控制喷油始点、喷油间隔和喷油终点，从而直接控制喷油量、喷油时间和喷油率。电控喷油器实际上完成了传统喷油装置中的喷油器、调速器和提前器的功能。

图 2-118 所示为二通阀式喷油器的喷油量特性曲线。图中表明脉宽和每循环喷油量的关系：在不同的喷油压力下，脉宽相同，喷油量不同；喷油压力越高，喷油量越大。但是，图 2-118a 和图 2-118b 相比，带补偿电阻的喷油器和不带补偿电阻的喷油器的喷油量有一定的区别。显然，带补偿电阻的电控喷油器喷油量特性的线性度提高了，分散度降低了。

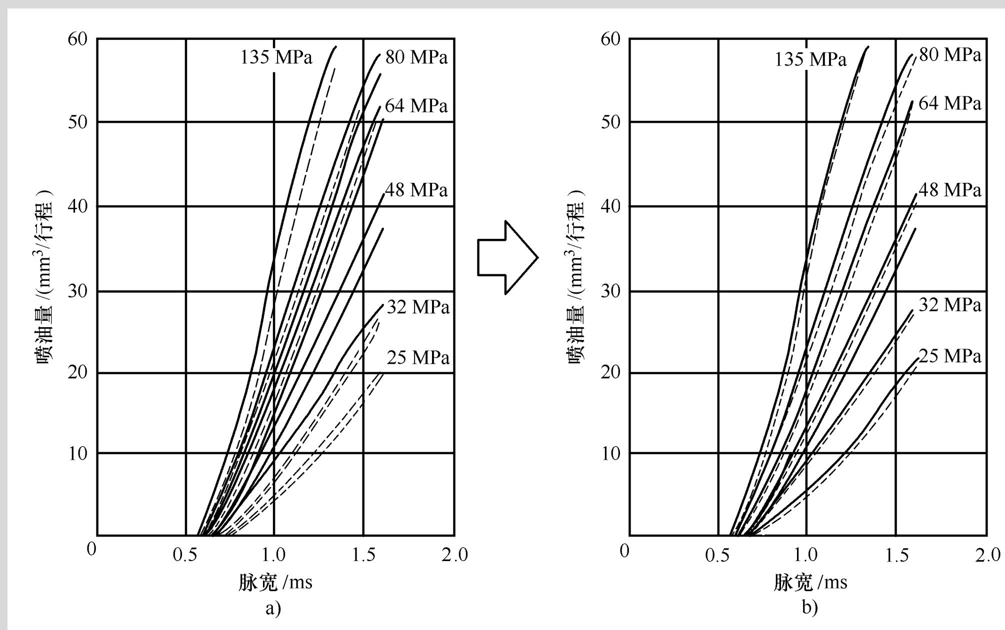


图 2-118　喷油量特性曲线

a）不带补偿　b）带补偿

5. 共轨

1）任务。**高压共轨管的作用是将供油泵提供的高压燃油稳压后，分配到各喷油器中，起到蓄压器的作用。**它的容积应削减高压油泵的供油压力波动和每个喷油器由喷油过程引起的压力振荡，使高压油轨中的压力波动控制在 5MPa 之下。但其容积又不能太大，以保证共轨有足够的压力响应速度以快速跟踪柴油机工况的变化；将高压油泵输出的高压油蓄积在共轨油腔内，维持 ECU 所设定的共轨压力；向各缸喷油器供应高压燃油。

2）结构与原理。高压共轨管上装有波动阻尼器、压力限制阀、流量限制阀（每缸一个）和共轨压力传感器，如图 2-119 所示。各零件结构与工作原理如下。



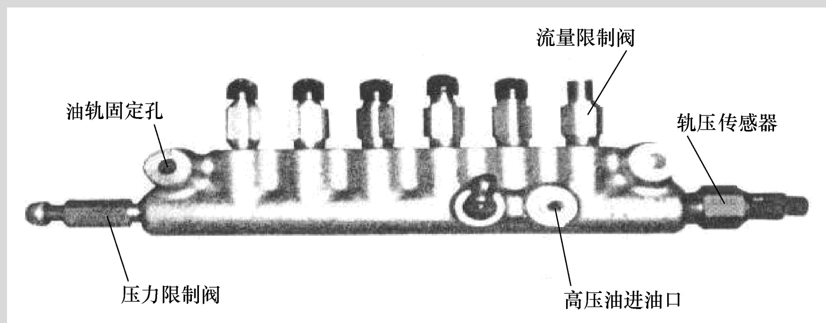


图 2-119　高压共轨的构造

① 流量限制阀。流量限制阀或称流动缓冲器，也有称波动阻尼器的，在油轨的上部有 6 个流量限制阀，分别与 6 个缸的高压油管相连。

当某一缸的高压油管有泄漏或喷油器故障而导致燃油喷射量超过限值时，高压柴油施加在活塞上，使活塞与钢珠向右移，钢珠与座接触，封闭柴油通道，切断该缸的燃油供应，如图 2-120 所示。

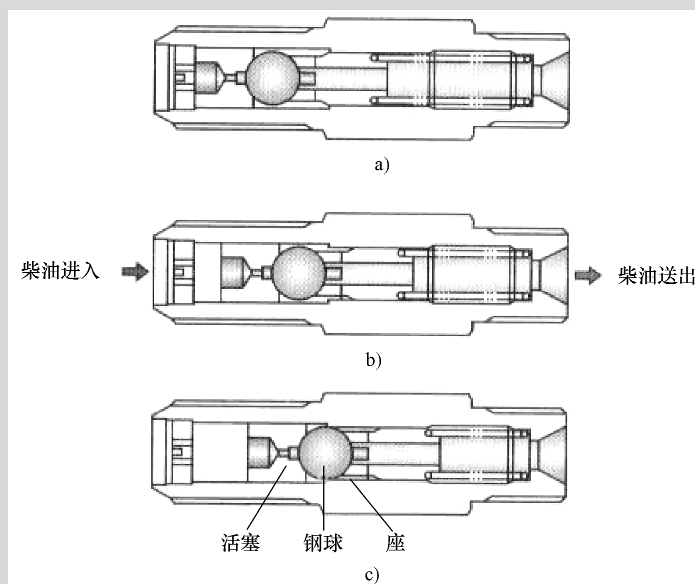


图 2-120　流量限制阀的构造与工作原理
a）发动机熄火时　b）阻尼作用时　c）过量柴油的不正常流动时

②轨压限制阀。当共轨压力超过共轨管所能承受的最高压力时 140MPa，轨压限制阀会自动开启，将共轨压力降低到约 30MPa 时，压力限制阀的阀门关闭，如图 2-121 所示。

③ 轨压传感器。共轨压力传感器为半导体式压力传感器，当油压变化时，半导体电阻发生改变，输出电压与油压成正比，油压越高，输出电压也越高。

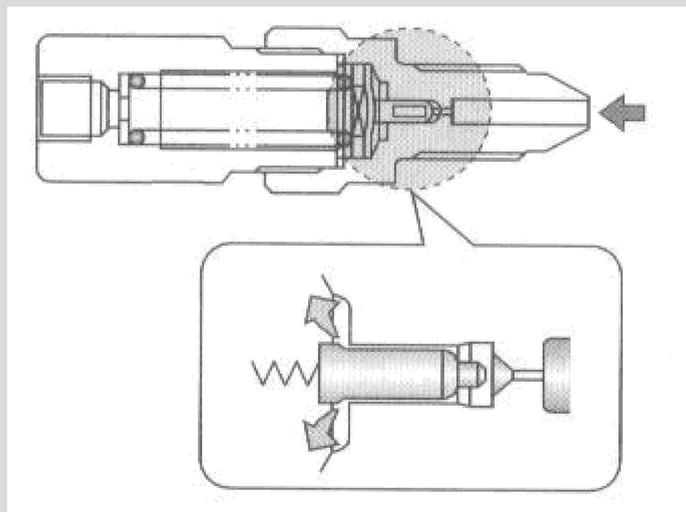


图 2-121　轨压限制阀的构造与作用

三、电装共轨电控系统典型电路图

1. 六缸柴油机电控电路

（1）6DL1 电控电路　图 2-122 为 6DL1 柴油机电控电路。

（2）6DL1 电控单元插接器　图 2-123 为 6DL1 柴油机电控单元插接器。

（3）6DL1 电控单元端子功能　6DL1 电控单元端子功能见表 2-3。

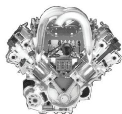
表 2-3　发动机 ECU 端子符号意义

端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
5	+B	主继电器供电	24	ON 和运行
6	+B	主继电器供电	24	ON 和运行
7	+B	主继电器供电	24	ON 和运行
8		至发动机转速表	脉冲	发动机运转
9		至发动机转速表	脉冲	发动机运转
19	ISO 9141—K	诊断用数据传输线		诊断时
21	AD1	电子油门 1 信号	0.5 ~4.95	ON 和运行
22	AD2	电子油门 2 信号	0.5 ~4.95	ON 和运行
23	AD10	PTO 加速传感器信号	0.5 ~4.95	ON 和运行
27	VS1	车速信号	脉冲	运行
28		ECU 外壳接地	0	永久
32	AD16	进气温度传感器信号	0.5 ~4.95	ON 和运行
35	+B	主继电器供电 +	24	ON 和运行
36	OUT5	排气制动继电器控制 –	0	使用排气制动时



（续）

端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
39	NE—SLD	转速传感器屏蔽接地	0	永久
40	NE +	发动机转速传感器信号	交流电压	发动机运转
41	NE -	发动机转速传感器信号	交流电压	发动机运转
44	输出 3	排气制动灯控制 -	0	使用排气制动时
45	输出 4	预热指示灯控制 -	0	预热时
46	开关 1	点火开关供电 +	24	ON 和运行
48	开关 2	来自起动开关信号 +	24	起动时
49	SW3	排气制动开关信号 +	24	操作排气制动开关
50	SW4	副停止开关 +	24	操作副停止开关
52	SW6	倒档开关 +	24	挂上倒档开关
53	SW7	制动开关 +	24	踏下制动开关
54	A—GND4	进气压力传感器接地 3	0	ON 和运行
55	A—GND5	冷却液温度、进气、燃油温度、PTO 加速传感器接地 5	0	ON 和运行
56	开关 1	点火开关供电 +	24	ON 和运行
57	A—VCC4	进气压力传感器电源 4 +	5	ON 和运行
60	SW12	巡航主开关 +	24	操作巡航主开关
61	SW17	制动灯开关 -	0	踏下制动灯开关
65	A—VCC5	PTO 加速传感器电源 5 +	5	ON 和运行
66	SW9	空档开关 +	24	空档时
67	SW11	巡航恢复/取消开关 +	24	操作开关时
68	SW16	诊断开关 +	24	操作开关时
70	输出 19	预热继电器控制 +	24	预热时
71	输出 20	预热继电器控制 +	24	预热时
72	GND	信号接地	0	永久
73	GND	信号接地	0	永久
74	输出 17	主继电器控制 -	0	ON 和运行
75	输出 18	主继电器控制 -	0	ON 和运行
76	+ B	主继电器供电	24	ON 和运行
77	SW27	离合器开关 +	24	踏下离合器
79	SW14	巡航设置减速 +	24	操作开关时
81	SW24	空调开关 +	24	操作开关时
82	S—输出 1	发动机故障灯控制 -	0	自检或故障时
89	SW21	PTO—开关 +	24	操作开关时
92	SW13	巡航设置加速 +	24	操作开关时
95	CAN2—H	通信线		



（续）

端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
96	CAN2—L	通信线		
97	SW32	拖车开关 –	0	操作开关时
98	SW22	暖机开关 +	24	操作开关时
101	CAN—SLD	通信线屏蔽	0	ON 和运行
102	P—GND	电源接地	0	永久
103	TWV1	1 缸喷油器控制 –	脉冲	运行
104	TWV3	3 缸喷油器控制 –	脉冲	运行
105	TWV2	2 缸喷油器控制 –	脉冲	运行
106	公共端	1/2/3 缸喷油器电源端 +		ON 和运行
107	公共端	1/2/3 缸喷油器电源端 +		ON 和运行
120	G	辅助转速传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
121	AD4	油轨压力传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
123	A—VCC3	电子油门 2 电源端 3 +	5	ON 和运行
125	A—VCC2	电子油门 1 电源端 2 +	5	ON 和运行
126	A—VCC1	油轨压力传感器电源 1 +	5	ON 和运行
128	AD3	进气压力传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
131	G—GND	辅助转速传感器接地端	0	ON 和运行
132	AD5	油轨压力传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
133	G—VCC	辅助转速传感器电源端	5	ON 和运行
134	A—GND1	油轨压力传感器接地端	0	ON 和运行
135	A—GND2	电子油门 1 接地端	0	ON 和运行
136	A—GND3	电子油门 2 接地端	0	ON 和运行
137	TWV5	5 缸喷油器控制 –	脉冲	运行
138	TWV6	6 缸喷油器控制 –	脉冲	运行
139	TWV4	4 缸喷油器控制 –	脉冲	运行
140	P—GND	电源接地	0	永久
141	P—GND	电源接地	0	永久
142	公共端	4/5/6 缸喷油器电源端 +		ON 和运行
143	公共端	4/5/6 缸喷油器电源端 +		ON 和运行
150	PCV	PCV2 阀控制 –	占空比	运行
151	PCV	PCV2 阀控制 –	占空比	运行
152	PCV	PCV1 阀控制 –	占空比	运行
153	PCV	PCV1 阀控制 –	占空比	运行
155	AD7	冷却液温度传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
157	CAN1—H	通信线		
158	CAN1—L	通信线		
162	AD8	燃油温度传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行



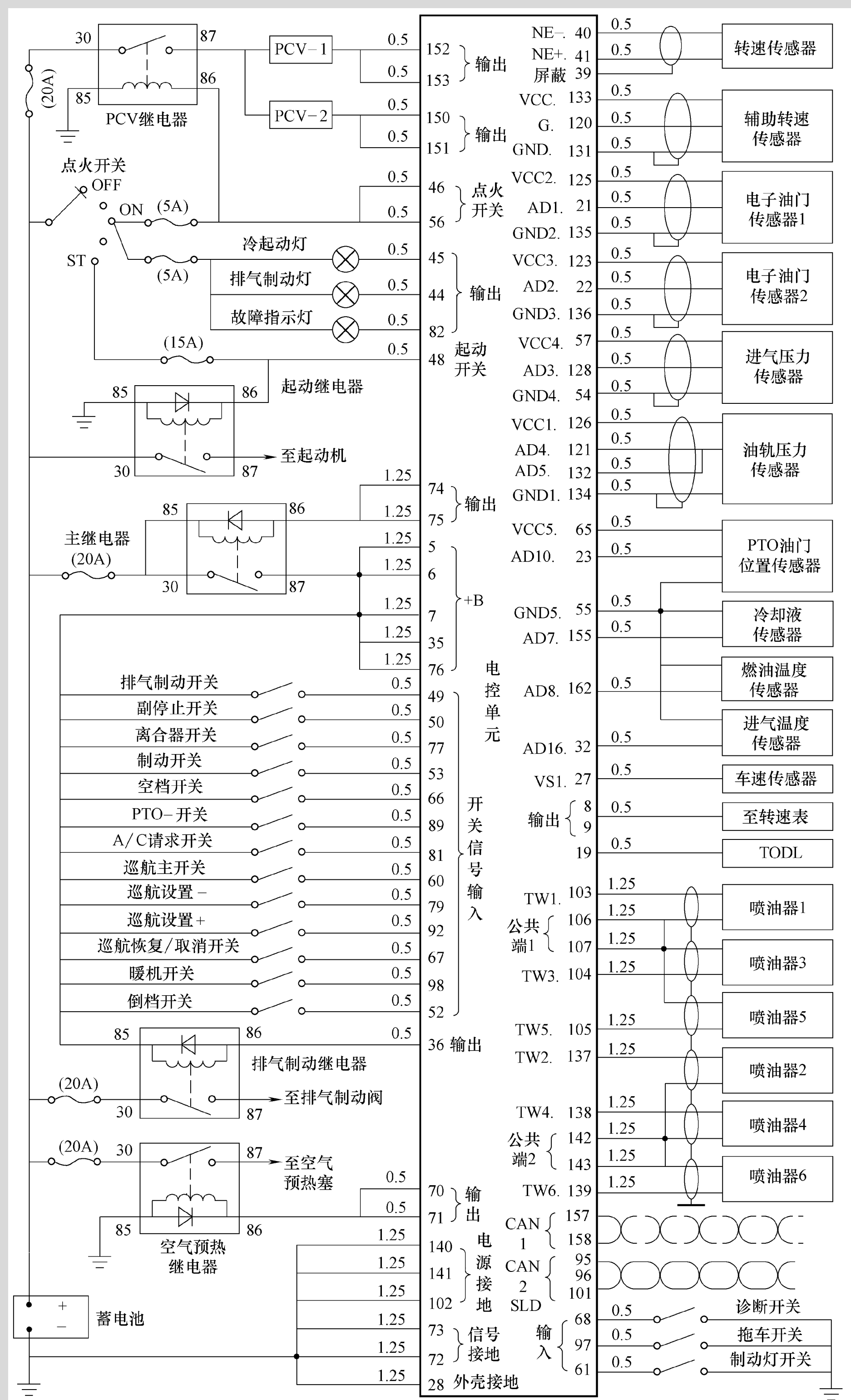
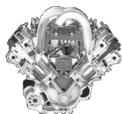


图 2-122　6DL1 柴油机高压共轨电控系统电路



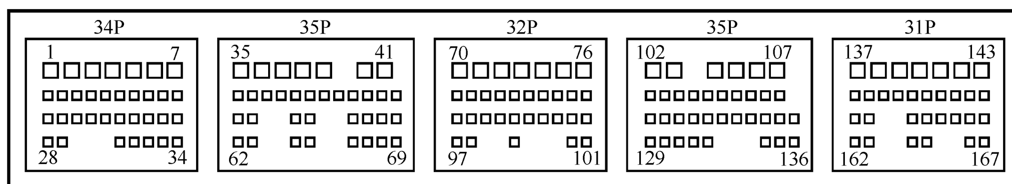


图 2-123　6DL1 柴油机电控单元插接器

2. 四缸柴油机电控电路

（1）4DL1 电控电路　图 2-124 为 4DL1 柴油机电控电路。

（2）4DL1 电控单元插接器　4DL1 柴油机电控单元插接器同 6DL1。

（3）4DL1 电控单元端子功能　4DL1 电控单元端子功能见表 2-4。

表 2-4　发动机 ECU 端子功能

端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
5	+B	主继电器供电	24	ON 和运行
6	+B	主继电器供电	24	ON 和运行
7	+B	主继电器供电	24	ON 和运行
8	TAC1	至发动机转速表	脉冲	发动机运转
9	TAC2	至发动机转速表	脉冲	发动机运转
19	KWP2000	诊断用数据传输线		诊断时
21	AD1	电子油门 1 信号	0.5~4.95	ON 和运行
22	AD2	电子油门 2 信号	0.5~4.95	ON 和运行
23	AD10	PTO 加速传感器信号	0.5~4.95	ON 和运行
27	VS1	车速信号	脉冲	运行
28		ECU 外壳接地	0	永久
32	AD16	进气温度传感器信号	0.5~4.95	ON 和运行
35	+B	主继电器供电 +	24	ON 和运行
36	OUT5	排气制动继电器控制 -	0	使用排气制动时
39	NE—SLD	转速传感器屏蔽接地	0	永久
40	NE +	发动机转速传感器信号	交流电压	发动机运转
41	NE -	发动机转速传感器信号	交流电压	发动机运转
44	输出 3	排气制动灯控制 -	0	使用排气制动时
45	输出 4	预热指示灯控制 -	0	预热时
46	开关 1	点火开关供电 +	24	ON 和运行
48	开关 2	来自起动开关信号 +	24	起动时



（续）

端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
49	开关 3	排气制动开关信号 +	24	操作排气制动开关
50	开关 4	副停止开关 +	24	操作副停止开关
52	开关 6	倒档开关 +	24	挂上倒档开关
53	开关 7	制动开关 +	24	踏下制动开关
54	A—GND4	进气压力传感器接地 3	0	ON 和运行
55	A—GND5	冷却液温度、进气、燃油温度、PTO 加速传感器接地 5	0	ON 和运行
56	开关 1	点火开关供电 +	24	ON 和运行
57	A—VCC4	进气压力传感器电源 4 +	5	ON 和运行
60	开关 12	巡航主开关 +	24	操作巡航主开关
61	开关 17	制动灯开关 –	0	踏下制动灯开关
65	A—VCC4	PTO 加速传感器电源 4 +	5	ON 和运行
66	开关 9	空档开关 +	24	空档时
67	开关 11	巡航恢复/取消开关 +	24	操作开关时
68	开关 16	诊断开关 +	24	操作开关时
70	输出 19	预热继电器控制 +	24	预热时
71	输出 20	预热继电器控制 +	24	预热时
72	GND	信号接地	0	永久
73	GND	信号接地	0	永久
74	输出 17	主继电器控制 –	0	ON 和运行
75	输出 18	主继电器控制 –	0	ON 和运行
76	+ B	主继电器供电	24	ON 和运行
77	开关 27	离合器开关 +	24	踏下离合器
79	开关 14	巡航设置减速 +	24	操作开关时
81	开关 24	空调开关 +	24	操作开关时
82	S—输出 1	发动机故障灯控制 –	0	自检或故障时
89	开关 21	PTO – 开关 +	24	操作开关时
92	开关 13	巡航设置加速 +	24	操作开关时
95	CAN2—H	通信线		
96	CAN2—L	通信线		
101	CAN2—SLD	通信线屏蔽	0	ON 和运行
102	P—GND	电源接地	0	永久
103	TWV1	1 缸喷油器控制 –	脉冲	运行
104	TWV4	4 缸喷油器控制 –	脉冲	运行
106	公共端	1/4 缸喷油器电源端 +		ON 和运行

（续）

端子	符号	端子名称	标准电压/V	条件
107	公共端	1/4 缸喷油器电源端 +		ON 和运行
120	G	辅助转速传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
121	AD4	油轨压力传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
123	A—VCC3	电子油门 2 电源端 3 +	5	ON 和运行
125	A—VCC2	电子油门 1 电源端 2 +	5	ON 和运行
126	A—VCC1	油轨压力传感器电源 1 +	5	ON 和运行
128	AD3	进气压力传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
131	G—GND	辅助转速传感器接地端	0	ON 和运行
132	AD5	油轨压力传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
133	G—VCC	辅助转速传感器电源端	5	ON 和运行
134	A—GND1	油轨压力传感器接地端	0	ON 和运行
135	A—GND2	电子油门 1 接地端	0	ON 和运行
136	A—GND3	电子油门 2 接地端	0	ON 和运行
137	TWV3	3 缸喷油器控制 -	脉冲	运行
138	TWV2	2 缸喷油器控制 -	脉冲	运行
140	P—GND	电源接地	0	永久
141	P—GND	电源接地	0	永久
142	公共端	2/3 缸喷油器电源端 +		ON 和运行
143	公共端	2/3 缸喷油器电源端 +		ON 和运行
144	SCVLO	PCV2 阀控制 -	占空比	运行
145	SCVLO	PCV2 阀控制 -	占空比	运行
146	SCVHI	PCV1 阀控制 +	占空比	运行
147	SCVHI	PCV1 阀控制 +	占空比	运行
155	AD7	冷却液温度传感器信号 +	0.5 ~ 4.95	ON 和运行
157	CAN1—H	通信线		
158	CAN1—L	通信线		
165	CAN—SLD	通信线屏蔽	0	ON 和运行



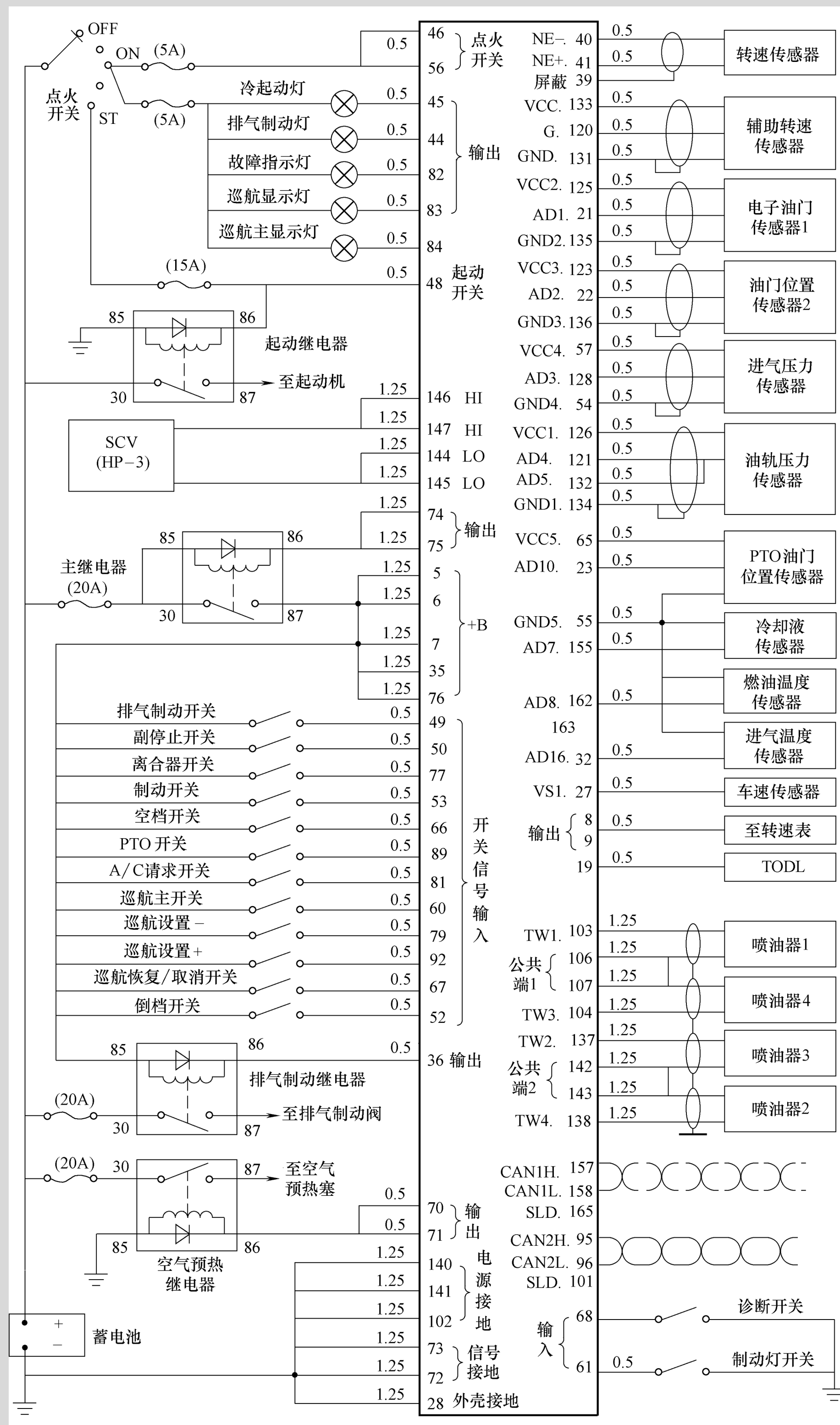


图 2-124　4DL1 柴油机高压共轨电控系统电路



第三章 高压共轨电控系统电路与检修

第一节　ECU 电源电路

ECU 电源电路是发动机电控系统正常工作的前提保障。其控制电路大体有两种形式：一种是无主继电器的 ECU 电源电路；另一种是有主继电器的 ECU 电源电路。主继电器在一些车辆上称为上电继电器，有些车辆则包括燃油泵的控制。

注意

无论哪种控制方式，在 ECU 上必须满足常火供电、点火供电以及搭铁回路。其中，常火供电的主要作用是故障记忆或兼功率用电；点火供电的主要作用是对 ECU 的唤醒及其他信号的输入。

正常情况下，接通点火开关，ECU 要进行自检，故障指示灯应点亮 3 ~ 5s 然后熄灭，同时 ECU 会输出各传感器、信号开关的工作电源（大多为 5V）以及为相关执行器提供工作电源（12V 或 24V），说明 ECU 供电基本正常。

一、无主继电器的 ECU 电源电路

图 3-1 所示为博世公司 6DF3/6DL2 电控共轨燃油系统电控单元（ECU）电源电路。

电控单元 ECU 电源电路工作原理：

接通点火开关，蓄电池正极（30）电源由电控单元 1. 40 端子进入 ECU 作为启控信号，ECU 内部电路工作，点亮故障诊断灯，此时开始自检，若电控系统没有故障存在，故障诊断灯在 3 ~ 5s 后自动熄灭，表示电控单元电源供电正常。

二、有主继电器的 ECU 电源电路

1. 电装公司 4DL1 和 6DL1 电控共轨燃油系统

图 3-2 所示为电装公司 4DL1/6DL1 电控共轨燃油系统电控单元（ECU）电源电路。

电控单元（ECU）电源电路工作原理：接通点火开关，点火供电经 5A 熔断丝送入电控单元（ECU）的 46 和 56 端子，作为电控单元（ECU）的启控信号，ECU 内部电路工作，通过 ECU 的 74 和 75 端子输出主继电器控制（搭铁）信号，同时，由 ECU 的 82 端子输出故障灯控制（搭铁）信号。

主继电器控制电路：蓄电池常电源（30）经 20A 熔断丝至主继电器的 85 端子，由主继

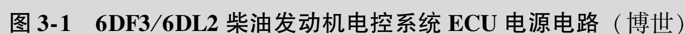


图 3-1　6DF3/6DL2 柴油发动机电控系统 ECU 电源电路（博世）



图 3-2　4DL1/6DL1 柴油发动机电控系统 ECU 电源电路（电装）

电器的 86 端子至 ECU 的 74 和 75 端子搭铁，主继电器线圈磁化，吸合触点。

主电路：蓄电池常电源（30）经 20A 熔断丝至主继电器的 30 端子，内部已经闭合的触点，由主继电器的 87 端子输出，分别送至 ECU 的 5、6、7、35 和 76 端子进入 ECU 内部作为 ECU 工作电源，同时提供给排气制动继电器工作电源。

发动机故障灯控制电路：故障灯由点火开关供电，通过ECU的82端子搭铁，在接通点火开关后进行自检，若系统正常，故障灯大约点亮3～5s后自动熄灭，表示电控单元电源供电正常。

2. 博世公司4DF3电控共轨燃油系统

图3-3所示为博世公司4DF3电控共轨燃油系统电控单元（ECU）电源电路。

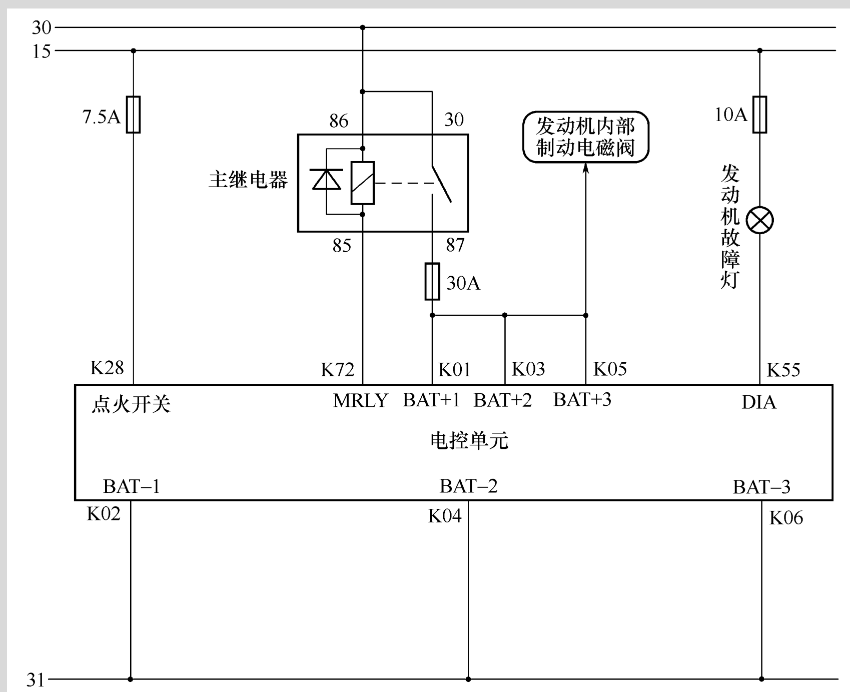


图3-3　4DF3柴油发动机电控系统ECU电源电路（博世）

电控单元（ECU）电源电路工作原理：接通点火开关，点火供电经7.5A熔断丝送入ECU的K28端子，作为电控单元（ECU）的启控信号，ECU内部电路工作，通过ECU的K72端子输出主继电器控制（搭铁）信号，同时，由ECU的K55端子输出故障灯控制（搭铁）信号。

主继电器控制电路：蓄电池常电源（30）经主继电器的86端子，经过继电器线圈，由主继电器的85端子连接至电控单元（ECU）的K72端子，由ECU的内部搭铁，主继电器线圈磁化，吸合触点。

主电路：蓄电池常电源（30）至主继电器的30端子，内部已经闭合的触点，由主继电器的87端子输出，分别送至ECU的K01、K03、K05端子进入ECU内部，作为ECU的工作电源，同时提供给发动机内部制动电磁阀的工作电源。

发动机故障灯控制电路：故障灯由点火开关供电，通过ECU的K55端子搭铁，在接通点火开关后进行自检。若系统正常，故障灯大约点亮3～5s后自动熄灭，表示电控单元电源供电正常。

三、电控单元（ECU）电源电路的检查

电控单元（ECU）电源电路是整个电控系统工作的前提，根据不同的故障现象对电控



单元（ECU）电源电路进行检查。ECU 电源电路一般分为有主继电器和无主继电器两种电路形式，但无论哪一种电路形式，有一个共同的特点就是在 ECU 电源电路正常的情况下，接通点火开关后故障指示灯会点亮，并在自检结束后自动熄灭，这个过程需 3 ~ 5s 的时间，这就给驾驶人一个提示，系统基本正常。对于修理人员来说，在检修故障时要很好地利用这个现象。

在检修故障车辆时，有时会遇到接通点火开关后故障指示灯不亮的情况，这时，有必要对 ECU 电源电路进行检查，除了了解 ECU 电源电路的控制方式外，还必须掌握电路的检查方法。下面以电装公司 4DL1 和 6DL1 电控系统为例，介绍一些常用的检查方法。ECU 电源电路如图 3-2 所示。

1. 故障指示灯及线路的检查

故障指示灯一般位于组合仪表板内，指示灯的一端一般与其他仪表或指示灯共用一个点火电源。导致指示灯不亮的原因一般有仪表电源没有供电，这可以通过其他仪表或指示灯的工作情况进行确认，这种可能性不大；另一种原因是故障指示灯本身损坏，但由于故障指示灯工作时间短，且工作电流小，一般不易损坏；还有就是故障指示灯线路故障，导致故障指示灯不亮，这种情况也不多见；而由于电控单元没有输出导致故障指示灯不亮的情况却较为多见。

故障指示灯不亮的检查方法如下。

在关闭点火开关的情况下，将 ECU 线束插头拔下，如果有电路图或熟悉电路，知道故障指示灯是由 ECU 的 82 端子控制的，可将测试灯的一端搭铁，另一端触碰 ECU 线束插头的 82 端子，如图 3-4 所示。接通点火开关后，若故障指示灯点亮（光暗），说明故障指示灯以及线路正常；若故障指示灯不亮，则可从 ECU 线束插头 82 端子至故障指示灯的相关线路查找。如果没有电路图或不熟悉电路，可将测试灯一端搭铁，用另一端在 ECU 线束插头上逐个端子触碰，若某个端子在触碰时，故障指示灯点亮，即可认为该端子即为故障指示灯控制端。检查故障指示灯正常与否，主要目的是要确认 ECU 有无故障指示灯控制输出，进而确认 ECU 电源供电情况。

2. ECU 点火供电的检查

若故障指示灯线路正常，而故障指示灯不亮，一般是 ECU 没有得到点火供电或 ECU 搭铁断路所至。点火供电检查方法如图 3-5 所示。

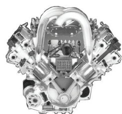
在关闭点火开关的情况下，将 ECU 线束插头拔下，将测试灯的一端搭铁。如果知道 ECU 点火供电是 46 或 56 端子，直接将测试灯的另一端触碰 46 或 56 端子，测试灯能点亮，说明点火供电正常，否则，应查找相关熔断丝或供电线路。

3. ECU 搭铁的检查

在确认 ECU 点火供电正常的情况下，故障指示灯仍然不亮，就要检查 ECU 的搭铁情况。如果了解电路，知道 ECU 的搭铁端子，可找一个电源正极或直接将测试灯的一端连接在已知的 ECU 点火供电端子上，另一端在已知的 ECU 的搭铁端触碰，如图 3-6 所示。若测试灯点亮，说明 ECU 搭铁正常，否则，应查找 ECU 相关线路。

4. 主继电器电路的检查

在确认 ECU 点火供电、搭铁正常的情况下，故障指示灯仍然不亮，应该检查主继电器的工作情况。主继电器的工作检查除了要了解主继电器的控制方式外，还应该了解继电器及继电器工作原理。



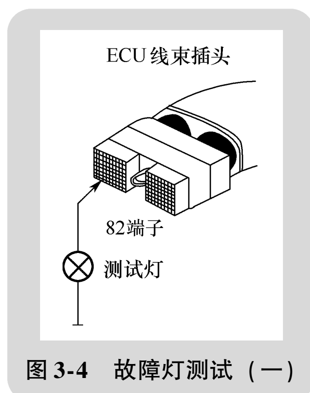


图 3-4 故障灯测试（一）

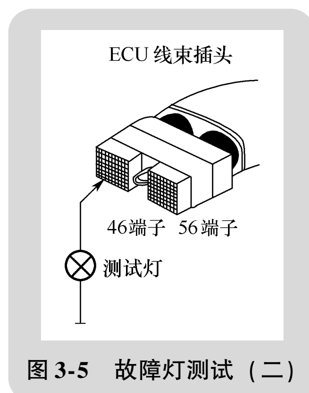


图 3-5 故障灯测试（二）

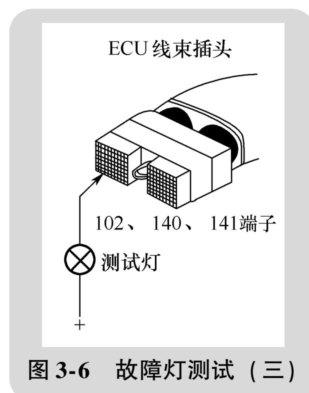


图 3-6 故障灯测试（三）

（1）继电器的工作原理　车用继电器一般有常开型和混合型两种。通用型继电器，在继电器的端子处会有数字标注，如图 3-7 所示。

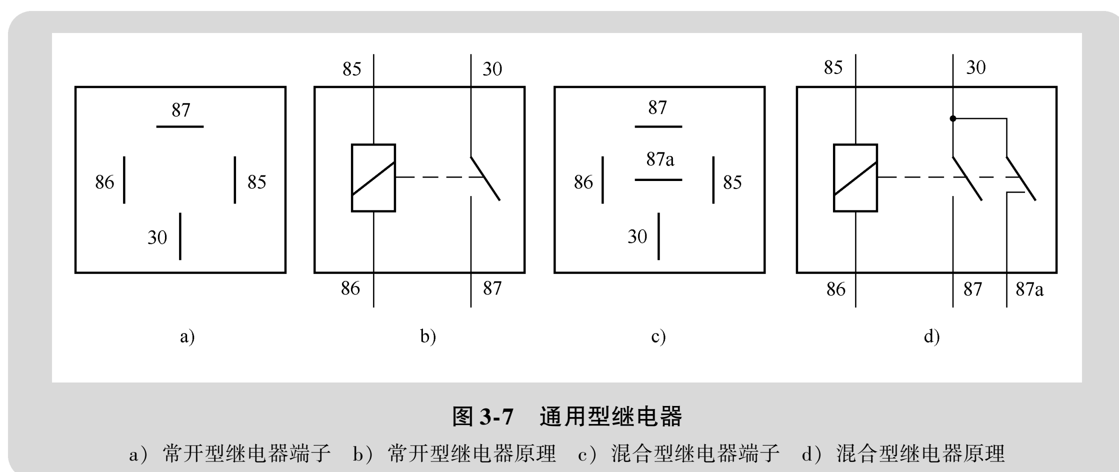


图 3-7 通用型继电器
a）常开型继电器端子　b）常开型继电器原理　c）混合型继电器端子　d）混合型继电器原理

另外还有专用继电器，虽然端子标注不一样，同样符合电磁继电器的所有参数和工作原理。

继电器的检查要做如下两项工作：

一是检查静态参数，对于 12V 的继电器，电磁线圈的阻值一般约为 80Ω；对于 24V 的继电器，电磁线圈的阻值一般为 200 ~ 300Ω，如图 3-8 所示。若是常开型继电器，则要检查 30 与 87 是否处于断开状态；若是混合型继电器，则要检查 30 与 87a 是否处于导通状态，如图 3-9 所示。

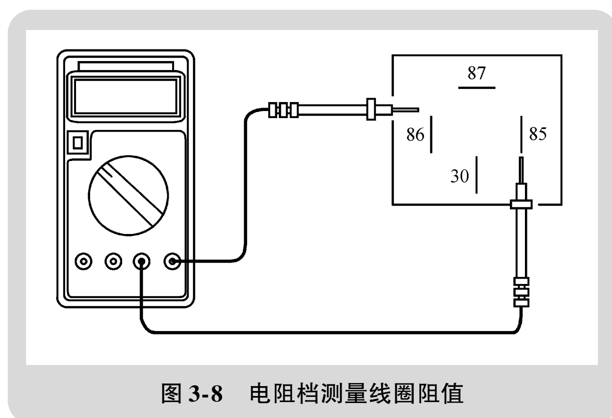


图 3-8 电阻档测量线圈阻值

二是检查动态情况，即电磁线圈通电后，触点是否动作。若是常开型继电器，30 与 87 应处于导通状态；若是混合型继电器，30 与 87a 应该断开，30 与 87 应该闭合，如图 3-10 所示。



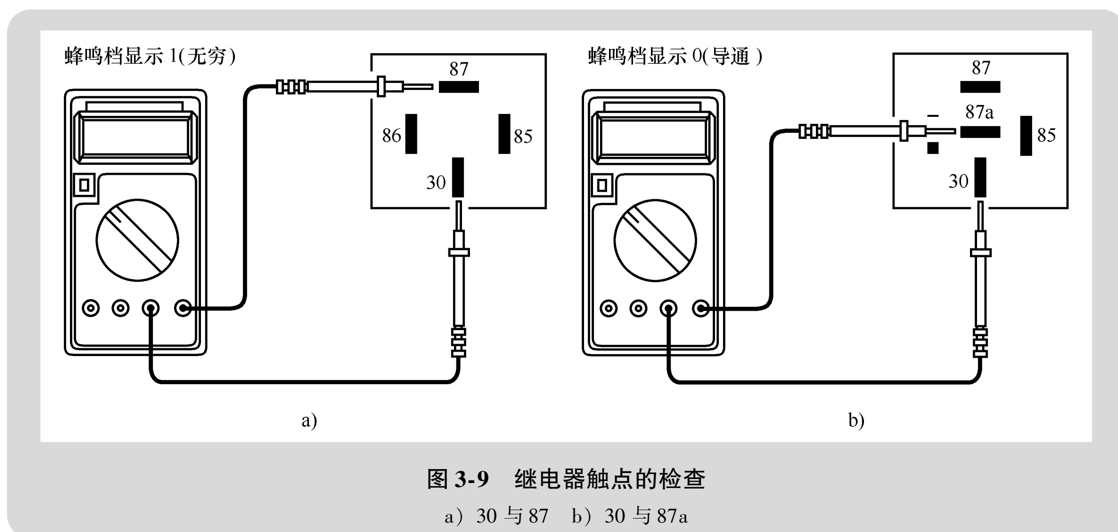


图 3-9　继电器触点的检查

a）30 与 87　b）30 与 87a

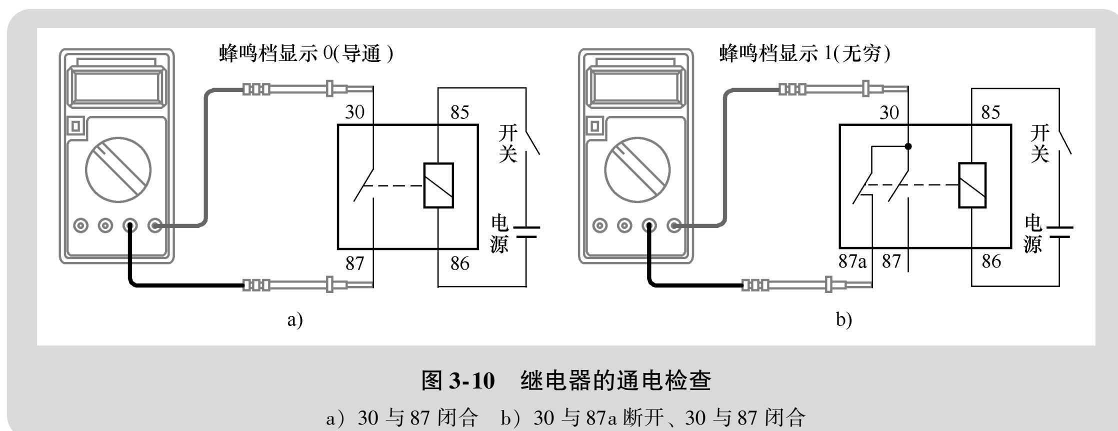


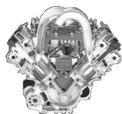
图 3-10　继电器的通电检查

a）30 与 87 闭合　b）30 与 87a 断开、30 与 87 闭合

利用测试灯也可很方便地对继电器进行检查。图 3-11a 所示为常开型继电器的测试方法，按照电路图将测试灯与继电器连接好，将开关闭合后，测试灯应点亮，说明继电器工作正常；图 3-11b 所示为混合型继电器的测试方法，按照电路将测试灯连接于 87a 端子与电源负极之间，此时测试灯应点亮，说明常闭触点正常，将开关闭合后，测试灯应熄灭，随后将测试灯改接在 87 端子上，测试灯能够点亮，说明继电器工作正常。将开关频繁接通与断开，再将测试灯频繁地在 87a 与 87 端子之间变换，则可看到测试灯闪烁的情况。

特别需要注意的是，主继电器有时装用的是普通继电器，有时是图中所示具有保护功能的特殊继电器，继电器内部与电磁线圈反向并联一个二极管，其作用是当线圈断电时，给感应电动势形成一个回路，用以保护电控单元（ECU）。所以在用万用表检查线圈电阻值时，正反向阻值或有所区别，特别是通电试验时，一定要严格按照原电路连接方法，否则会击穿二极管导致继电器损坏。

（2）主继电器控制信号的检查　从图 3-12 可知，主继电器是由 ECU 的 74、75 端子控制的，在确认主继电器的 85 端子已有电源正极的前提下，主继电器是否工作取决于 ECU 是否有控制信号输出，这有两种情况：一是要检查 ECU 的 74、75 端子至主继电器的线路导通



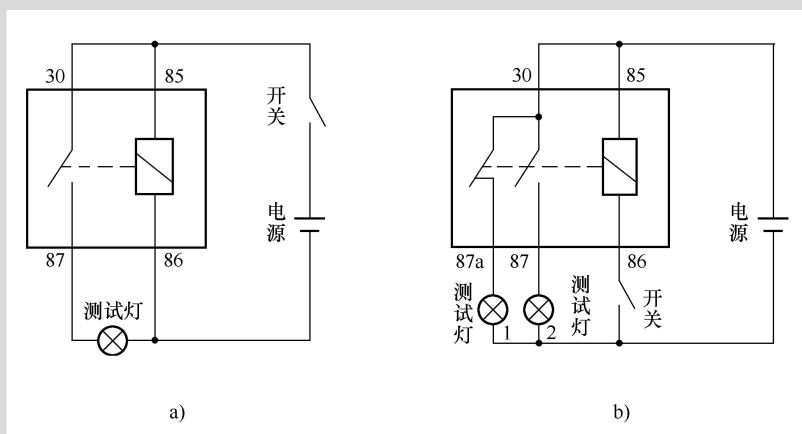


图 3-11　继电器通电检查（测试灯）

a）常开型继电器　b）混合型继电器

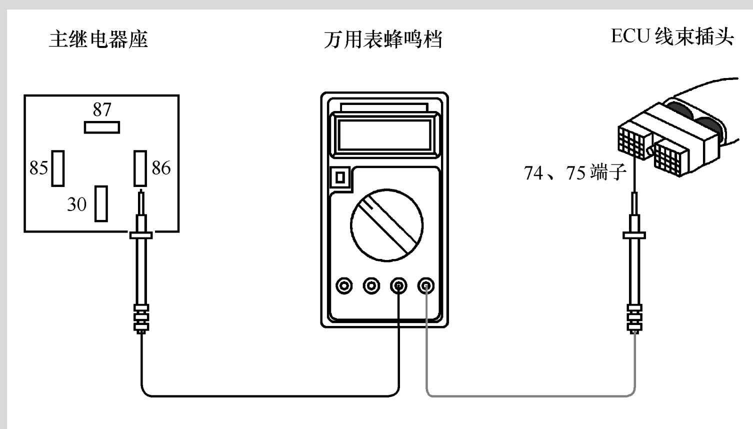


图 3-12　主继电器线路检查

情况；二是需要确认 ECU 是否有输出。

首先要检查线路导通情况，在关闭点火开关的情况下，将 ECU 线束插头拔下，用万用表蜂鸣档检查 ECU 的 74、75 端子至主继电器的 86 端子的导通情况。正常情况万用表在蜂鸣器鸣响的同时应显示为 0（导通），否则应检查相关的线路连接，如图 3-12 所示。

在确认主继电器与 ECU 控制端子线路正常的情况下，将 ECU 线束插头恢复，把测试灯的一端连接于主继电器的 85 端子，另一端连接于 86 端子，如图 3-13 所示。接通点火开关后，测试灯应点亮，否则，说明 ECU 没有输出控制信号，应检查 ECU 内部或更换 ECU。

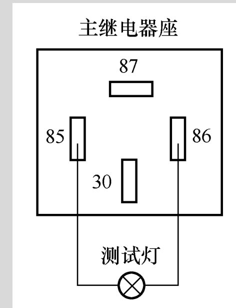


图 3-13　主继电器控制信号的检查



◎◎◎　第二节　传感器电路　◎◎◎

一、电装公司传感器电路

1. 主要传感器电路

图 3-14 所示为电装 6DL1 电控系统主要传感器电路。传感器电源（VCC）均由电控单元提供，其中，冷却液温度传感器、进气温度传感器、燃油温度传感器和 PTO 加速位置传感器采用了公共传感器搭铁（接地端），一旦公共搭铁端断路，几个传感器同时不能工作。

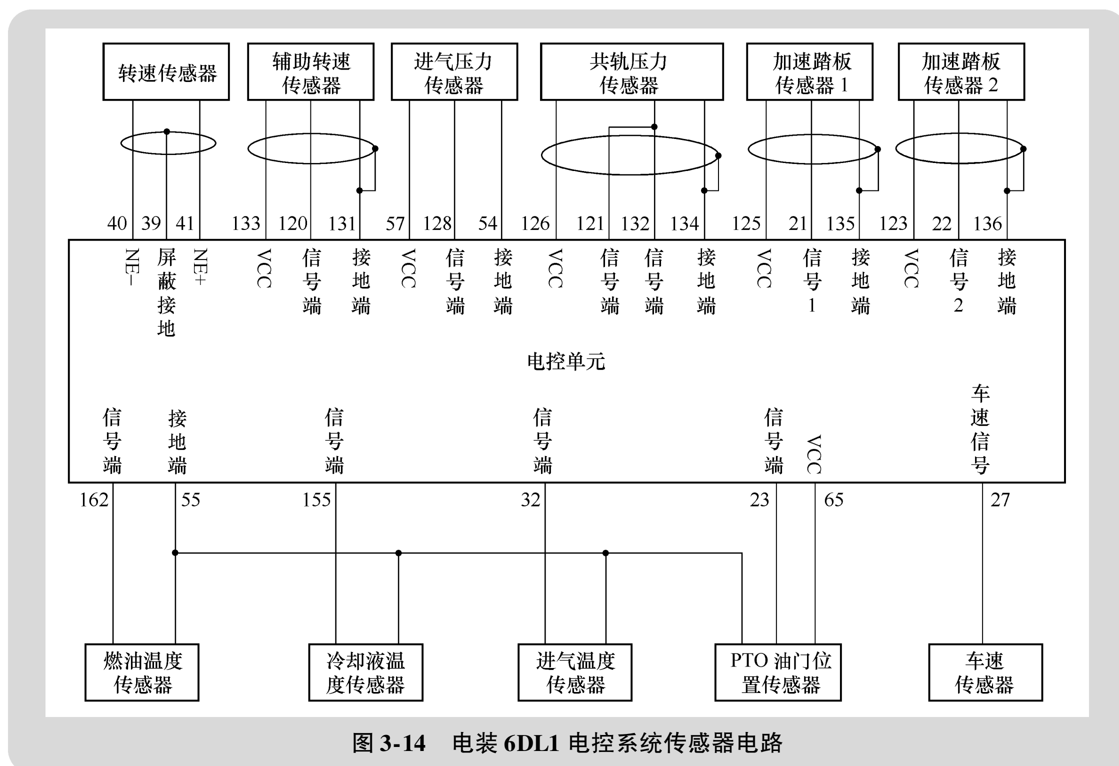


图 3-14　电装 6DL1 电控系统传感器电路

2. 辅助开关信号电路

图 3-15 所示为电装 6DL1 电控系统辅助开关信号电路。电路图上方开关的输入端，都来自主继电器的输出，即蓄电池电压，对电控单元均为开关信号；电路图下方的开关则是直接搭铁，对电控单元同样为开关信号，只是极性为负极。

二、博世公司传感器电路

1. 主要传感器电路

图 3-16 所示为博世 6DF3/6DL2 电控系统主要传感器电路，各个传感器的工作电源均受电控单元独立控制，外电路互不相关。

2. 辅助开关信号电路

图 3-17 所示为博世 6DF3/6DL2 电控系统辅助开关信号电路。开关分为三个电源，均由

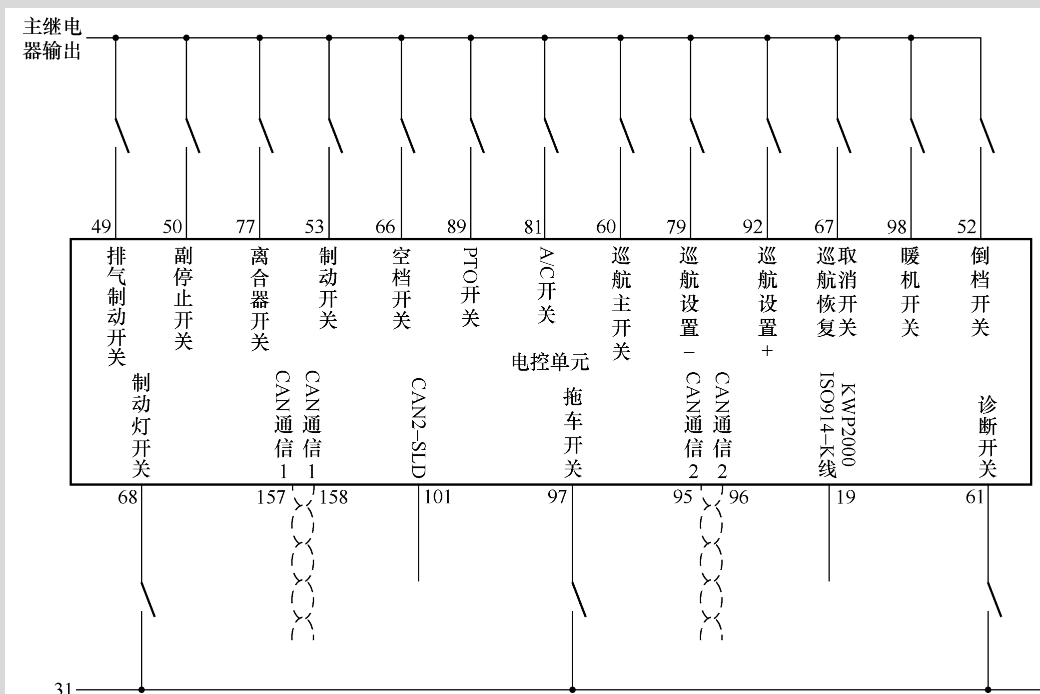


图 3-15　电装 6DL1 电控系统辅助开关信号电路

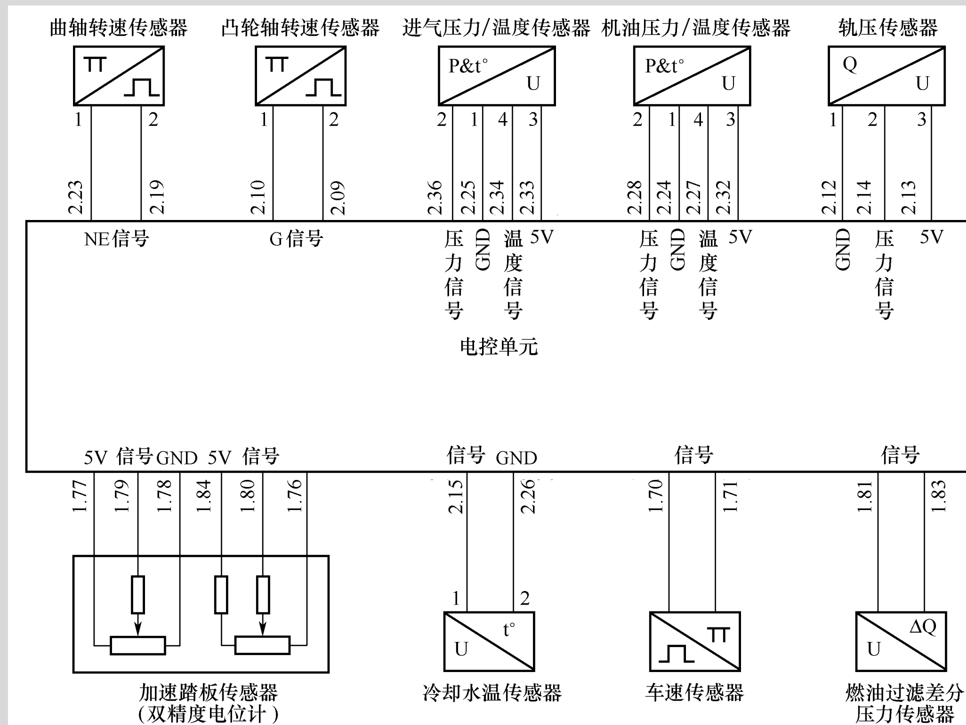


图 3-16　传感器电路（博世 6DF3/6DL2）



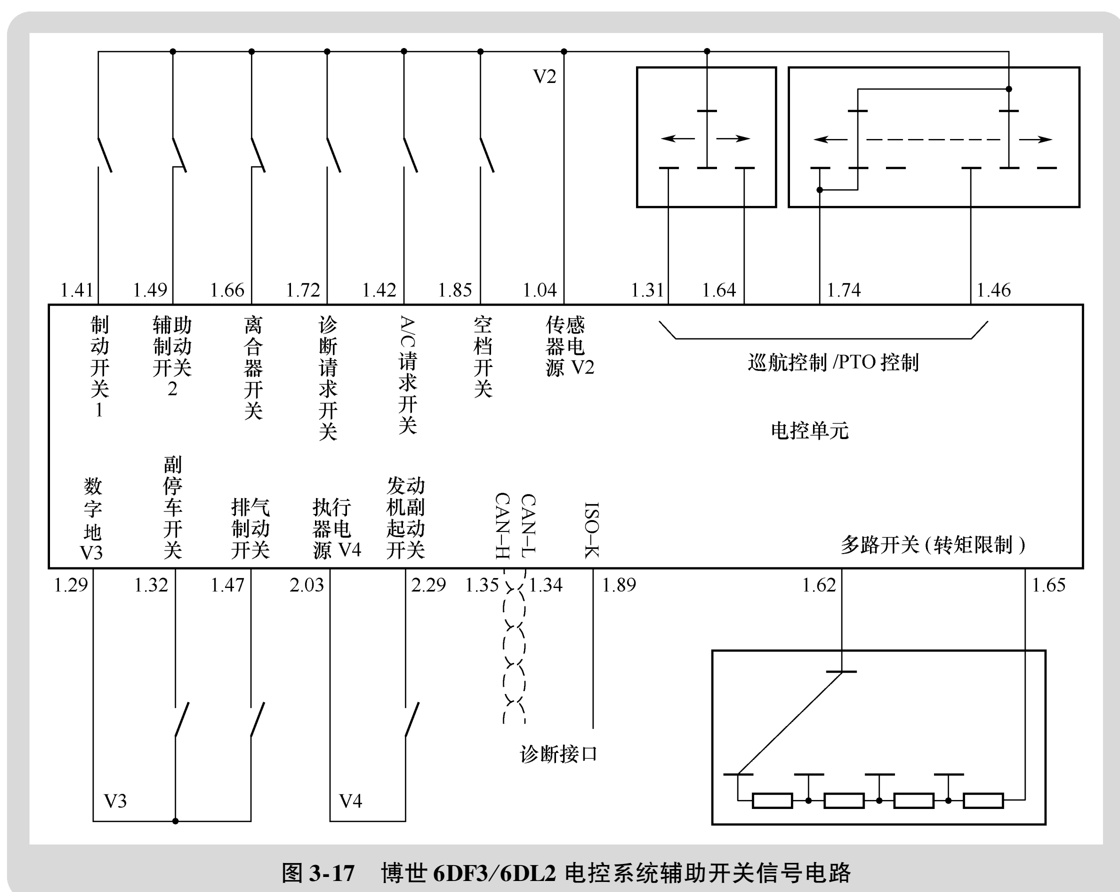


图 3-17　博世 6DF3/6DL2 电控系统辅助开关信号电路

电控单元提供，其中电控单元 1. 04 和 2. 03 端子输出的 V2 和 V4 为正极性电源（24V），电控单元 1. 29 端子输出的 V3 为内部搭铁。

三、传感器电路的检查

传感器在发动机电子控制系统中，随时监测发动机及车辆的有关运行状态，将温度、压力、负荷和转速等工作状态通过电信号的方式传输给电控单元（ECU），为喷油时刻和喷油量提供精确的信息。参照图 3-14 和图 3-16 的电路，按输出信息的性质，传感器可分为开关型、模拟型和数字型，根据传感器的工作原理和检测方法，可分为温度传感器、电磁传感器、霍尔传感器、电位计传感器和电子式传感器几个类型。

1. 温度传感器的检查

车辆上的温度传感器大多采用负温度系数的热敏电阻，受温度影响，电阻值随之变化，温度高时电阻值小；反之，电阻值大。以冷却液温度传感器为例，在电控电路中温度传感器是 ECU 内部分压电路的一部分，工作时利用温度传感器电阻值的变化，改变内电路的电压，ECU 就是利用这一变化来感知发动机的温度，用以控制燃油系统的喷油增量。冷却液温度传感器电路原理如图 3-18 所示。

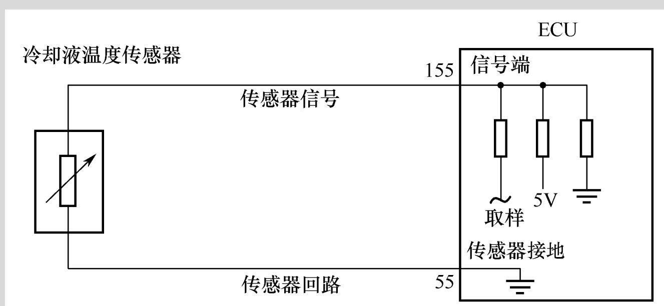


图 3-18　电装 6DL1 电控系统冷却液温度传感器原理图

注意

冷却液温度传感器在电控系统电路中有静态和动态两种检查方法。

（1）冷却液温度传感器的静态检查　静态即传感器本身电阻值与温度变化的关系、传感器与 ECU 之间的线路连接。

传感器阻值正常与否可用万用表电阻档进行测量，就车检查时，关闭点火开关，拔下冷却液温度传感器线束插接器，用高阻抗万用表电阻档，两表笔分别触接传感器两个端子，观察电阻值与温度的关系，作为粗略的检查；需要进一步确定时，可按图 3-19a 所示方法进行检查，关闭点火开关，拔下传感器线束插接器，拆下冷却液温度传感器，将传感器置于烧杯中，加热杯中的水，同时用万用表电阻档测量不同温度条件下传感器两端子之间的电阻值变化，然后将所测值与标准值比较，如果不符合标准，则应更换冷却液温度传感器。表 3-1 所列为冷却液温度传感器电阻值与温度的关系。

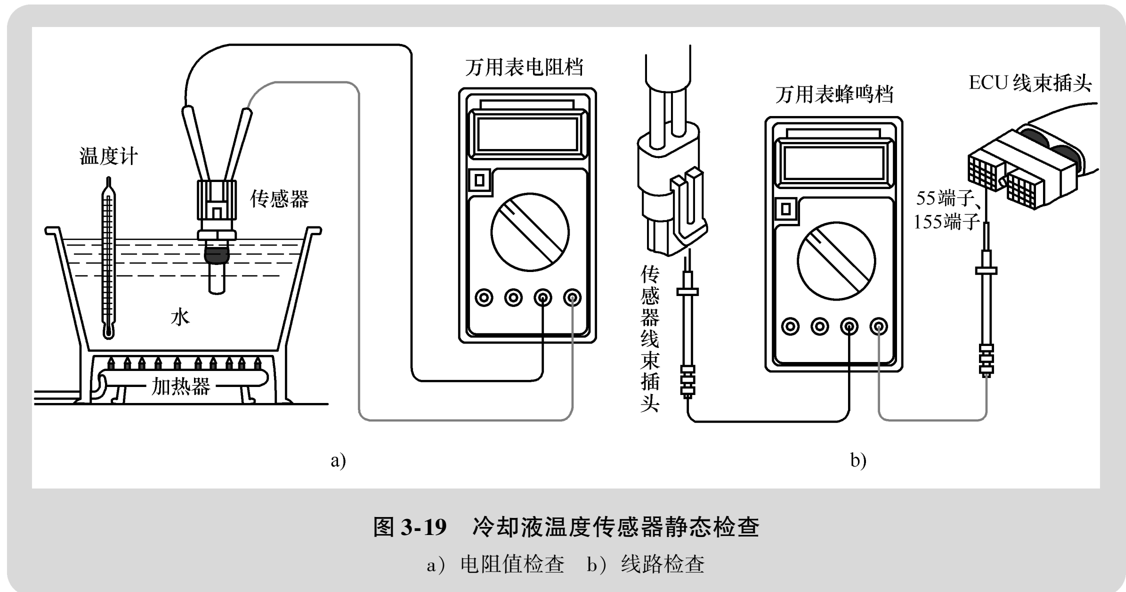


图 3-19　冷却液温度传感器静态检查
a）电阻值检查　b）线路检查

冷却液温度传感器线束插接器与 ECU 之间的线路检查如图 3-19b 所示。关闭点火开关，将冷却液温度传感器从线束拔下，再将 ECU 线束插头拔下，用万用表蜂鸣档测量其线路导



通情况。用万用表的一表笔分别连接于 ECU 线束插头的 55 端子和 155 端子（若表笔线长度不够，可连接延长线）；另一表笔分别连接于冷却液温度传感器的线束插接器的两个插座，蜂鸣器应鸣响，同时显示屏为 0（或接近 0），说明线路正常，否则，应查找线路故障。

表 3-1　水温度与冷却液温度传感器阻值的关系

温度/℃	阻值/kΩ	温度/℃	阻值/kΩ
-40	40.49～50.13	25	1.94～2.17
-30	23.58～28.64	40	1.11～1.23
-20	14.09～16.82	60	0.57～0.61
-10	8.64～10.15	80	0.31～0.33
0	5.46～6.32	100	0.18～0.19
20	2.35～2.64	120	0.10～0.11

（2）冷却液温度传感器的动态检查　动态即检查传感器侧信号端子的参考电源以及信号电压与温度的关系。

在确认传感器与 ECU 之间的线路连接正常的情况下，关闭点火开关，将 ECU 线束插头恢复，冷却液温度传感器保持断开状态，在冷却液温度传感器线束插接器侧，用万用表电压档测量两插座之间是否有 5V 参考电压，如图 3-20a 所示。接通点火开关，有 5V 参考电压为正常，否则，为 ECU 内部故障或 ECU 没有工作；关闭点火开关，将冷却液温度传感器装复，用背插式方法检查传感器温度与信号电压的关系，所测电压值应与冷却液温度成反比变化，如图 3-20b 所示。传感器在各种温度下的信号电压值见表 3-2。

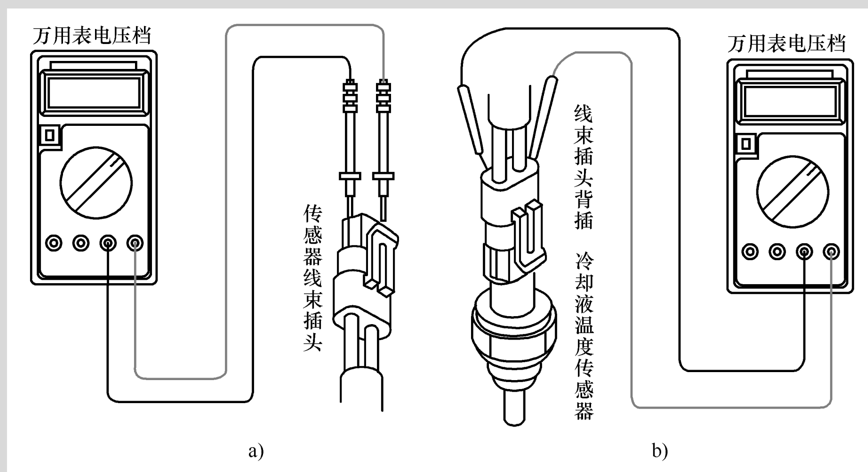


图 3-20　冷却液温度传感器动态检查

a）测量 5V 参考电压　b）测量信号电压

2. 电磁式传感器的检查

电磁式传感器在电控系统中常用于曲轴位置、凸轮轴位置、车速和转速传感器，传感器电路如图 3-21 所示。

表 3-2　温度与传感器信号电压的关系

温度/℃	信号电压/V	温度/℃	信号电压/V
-30	4.02	40	1.50
-20	3.66	50	1.22
-10	3.30	60	0.94
0	2.94	70	0.66
10	2.58	80	0.38
20	2.22	90	—
30	1.86	100	—

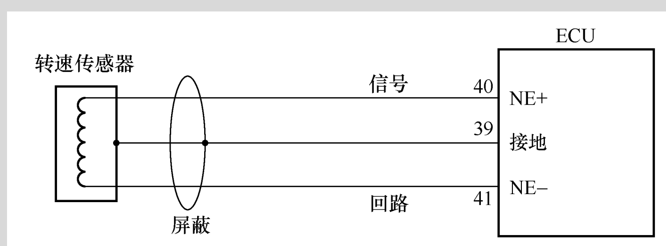


图 3-21　电装 6DL1 电控系统转速传感器电路

电磁式传感器由永久磁铁和绕制在永久磁铁上的电磁感应线圈等组成，安装在能够检测曲轴或凸轮轴（其他转动的轴）的地方。当轴转动时，齿轮与感应线圈的磁头之间的间隙发生变化，导致通过感应线圈的磁场发生变化而产生感应电动势。轮齿靠近及远离磁头时，将产生一次增减磁通的变化，所以每个轮齿通过磁头时，都将在感应线圈中产生一个完整的交流电压信号。

注意

下面以转速传感器为例介绍其静态和动态的两种检查方法。

（1）电磁式传感器静态检查　**电磁式传感器静态时，需要检查其线圈阻值、绝缘程度以及传感器与 ECU 的线路连接情况。**电磁线圈阻值用万用表电阻档就可测量，其线圈阻值因车型不同会有区别，一般以 1000Ω 作为经验参数，如图 3-22a 所示；绝缘程度的检查选用数字式万用表兆欧级量程，表笔的一端连接传感器金属外壳，另一表笔连接传感器的任意一端子，测量结果万用表应显示为 1，或指针式万用表的 10kΩ 档，测量结果应为无穷大（表针基本不动），如图 3-22b 所示；线路检查即传感器与 ECU 之间的导通情况，选用万用表蜂鸣档，分别测量 ECU 39、40、41 端子与对应的转速传感器线束插接器的各个插座的导通情况，正常情况下蜂鸣档应鸣响，显示屏数字为 0，如图 3-23 所示。

（2）电磁式传感器动态检查　**电磁式传感器动态检查主要是指发动机工作时是否有信号电压输出。**也就是说，无论是曲轴、凸轮轴还是其他转动的轴，电磁式传感器的信号电压都和转速成正比关系。信号电压常用的检查方法是，电控系统电路在连接正常的情况下，用万用表交流电压档，将两个表笔用背插式方法连接于传感器的线束插头，设法转动发动机，会有交流电压显示，转速越高，信号电压越高，如图 3-24 所示。



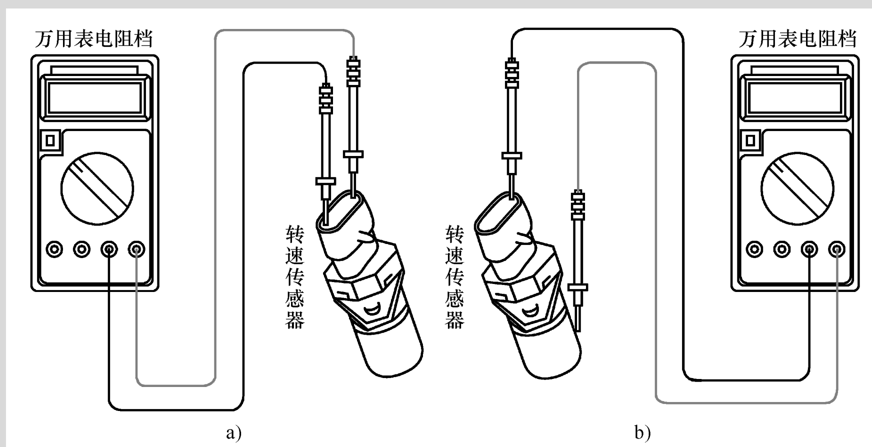


图 3-22　转速传感器的静态检查

a）传感器电阻值检查　b）传感器绝缘检查

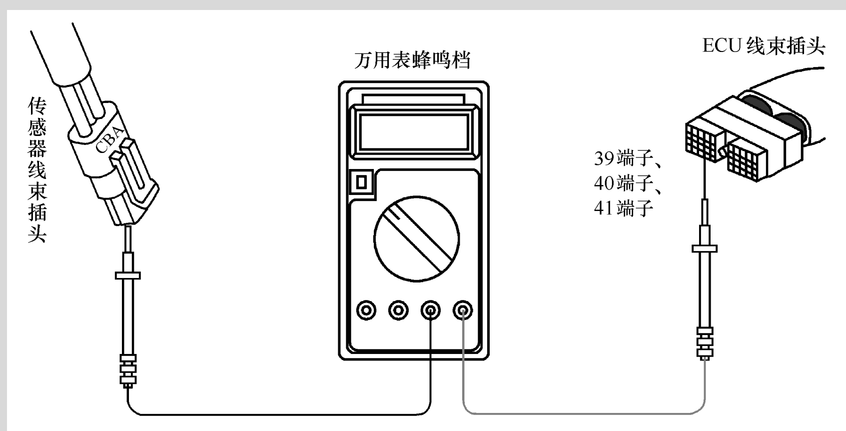


图 3-23　转速传感器线路检查

3. 霍尔式传感器的检查

霍尔式传感器在发动机电控系统中大多用于曲轴位置或凸轮轴位置传感器，安装在曲轴或凸轮轴齿轮的外缘上，传感器的内部由永久磁铁、霍尔集成电路和导磁板等组成。传感器的齿顶与齿轮留有一定的间隙，利用霍尔效应的原理，转动的齿轮与传感器的齿顶之间的间隙改变，传感器内部永久磁铁的磁通会发生变化，这时产生霍尔电压。将霍尔元件间隙产生的霍尔电压经霍尔集成电路放大整形后，即向 ECU 输送电压脉冲信号。霍尔式传感器的电路如图 3-25 所示。

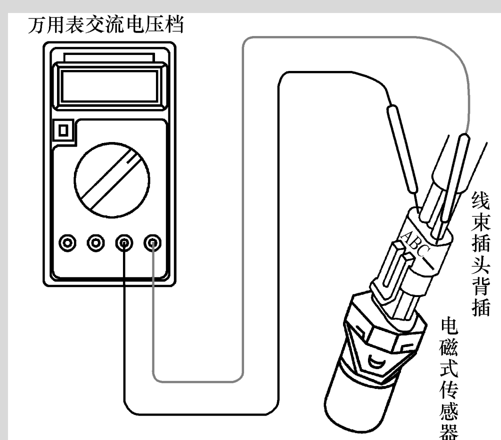


图 3-24　转速传感器信号电压测试



图 3-25　霍尔式传感器电路（电装 6DL1）

霍尔式传感器上大多数有“＋、－、0”标注，明确各端子的功能。“＋、－”表示传感器的工作电压，电控系统传感器的工作电源一般为 5V、12V，目前采用 5V 的较多；“0”表示信号，信号电压在 0 到电源电压之间变化（例如：0～5V）。

霍尔式传感器与热敏电阻式、电磁式传感器不同，对传感器本身一般不做静态检查，所以重点检查传感器与 ECU 之间的线路连接、传感器的工作电源和输出信号。

（1）传感器的线路检查　主要是检查传感器线束插头与 ECU 线束插头之间线路的导通情况，检查时将点火开关关闭，拔下传感器与 ECU 的线束插头，用万用表的蜂鸣档对传感器与 ECU 之间的连接线路分别进行导通检查，正常情况传感器侧与 ECU 侧的导线在蜂鸣器鸣响的同时应显示为 0 或接近 0，否则应查找相关线路连接，找到并排除故障，检查方法如图 3-26 所示。

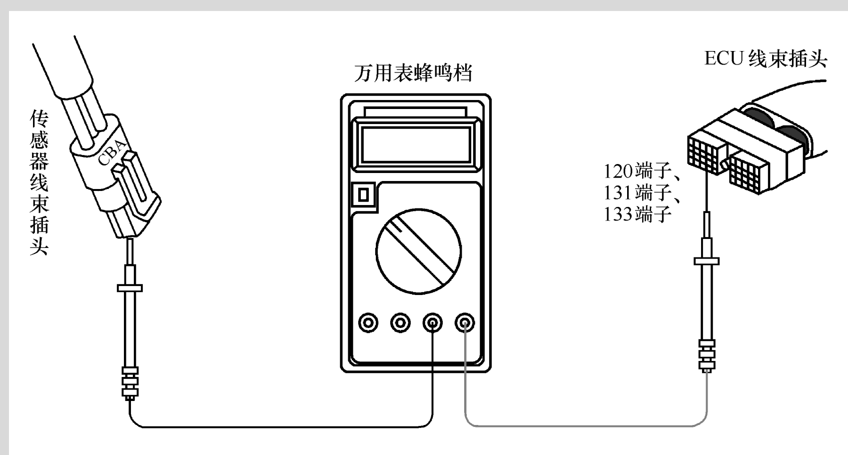


图 3-26　传感器线路检查

（2）传感器工作电源的检查　关闭点火开关，拔下传感器线束插头，接通点火开关，用万用表直流电压档在传感器线束插头（标注＋、－的插孔）上测量其工作电源，正常时应符合规定的工作电源电压等级。检查方法如图 3-27a 所示。

（3）信号电压的检查　指发动机工作或曲轴转动时在传感器信号线上的电压变化，检查时用万用表的直流电压档，将某一表笔背插在传感器线束的信号端子（输出有时为正，有时为负），另一表笔连接于传感器的电源正极（或负极）。若是曲轴转动得慢一些，可在电压表上看到 0～5V 的脉冲信号（即在 0～5V 之间变化）；若是曲轴转动得快一些，万用表



显示为 0 ~5V 之间的平均值，这是粗略的检查（在没有示波器的情况下）。检查方法如图 3-27b 所示。

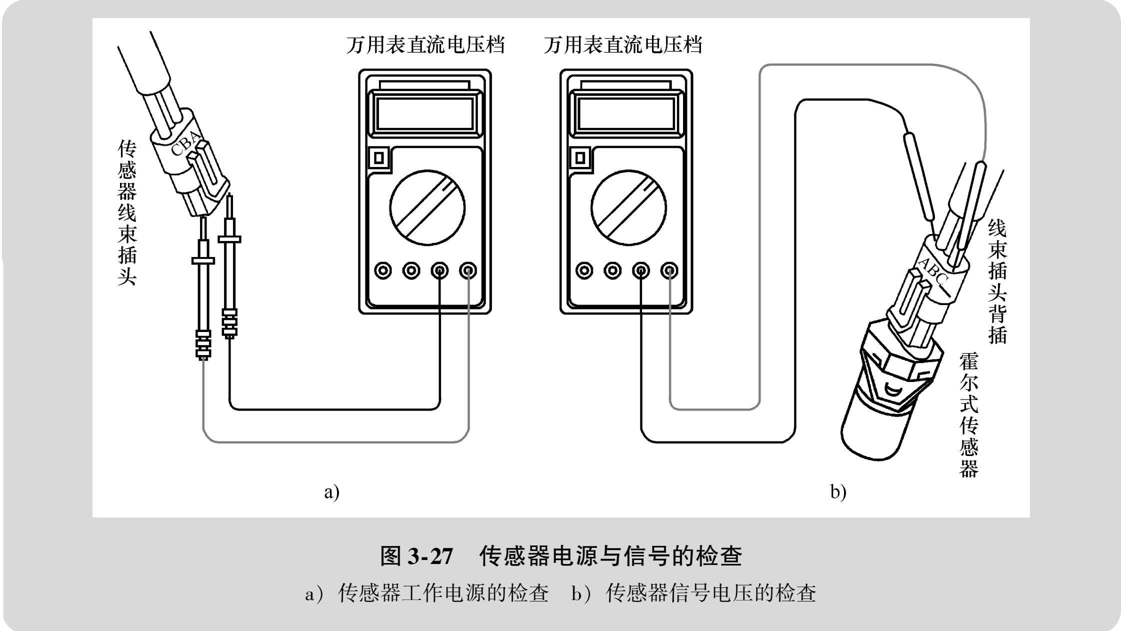


图 3-27　传感器电源与信号的检查

a）传感器工作电源的检查　b）传感器信号电压的检查

4. 电位计式传感器的检查

电位计式传感器在柴油电控系统中可用于加速踏板位置传感器或远程油门控制，在汽油机电控系统称为节气门位置传感器。下面以加速踏板位置传感器为例介绍其工作情况。

电位计式传感器内部主要由滑动触头和电阻器组成。驾驶人踩踏加速踏板时，通过一些联动机构使滑动触头改变在电阻器上的位置，使电阻器的阻值发生变化，从而引起施加在电阻器上的电压变化。不同的加速踏板行程，电位计的电阻值不同，将加速踏板行程的变化转变为电压信号输送给 ECU，ECU 通过加速踏板位置传感器可以获得油门行程的多少和连续变化的电压信号以及变化速率等信息，从而精确地判断发动机的运行工况，配合其他传感器的信号，对喷油器的喷油量进行控制。加速踏板位置传感器电路如图 3-28 所示。

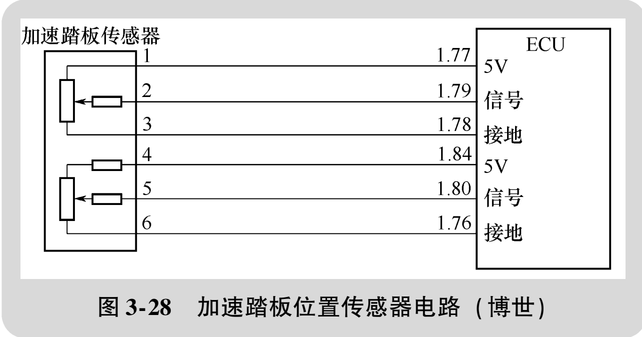
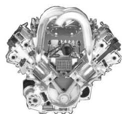


图 3-28　加速踏板位置传感器电路（博世）

注意

加速踏板位置传感器的静态检查主要是传感器本身电位计的电阻值是否为线性变化、是否与标准值相符以及传感器与 ECU 之间线路的导通情况。

（1）传感器电阻值的检查　可用万用表电阻档，在关闭点火开关的状态下，将传感器



线束插头拔下，用万用表的两个表笔按照图 3-29 所示的方法，分别检查传感器的固定电阻值（1 与 3，4 与 6）和传感器动作时可变电阻的线性变化（1 与 2 或 2 与 3，4 与 5 或 4 与 6）。正常情况下，固定电阻和可变电阻线性变化应与标准值相符，否则，应将其更换。

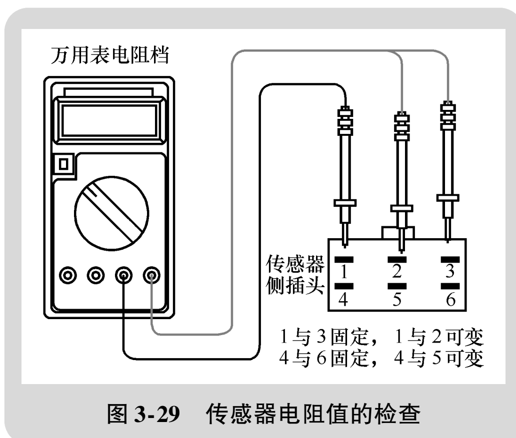


图 3-29　传感器电阻值的检查

（2）传感器线路的检查　可采用万用表蜂鸣档，关闭点火开关，拔下传感器和 ECU 线束插头，表笔的一端连接传感器侧的线束插孔，另一表笔触碰 ECU 侧的线束插座，对传感器与 ECU 之间的每条导线进行检查。正常情况下，导线的导通应该在蜂鸣器鸣响的同时显示屏显示为 0 或接近 0。具体方法如图 3-30 所示。

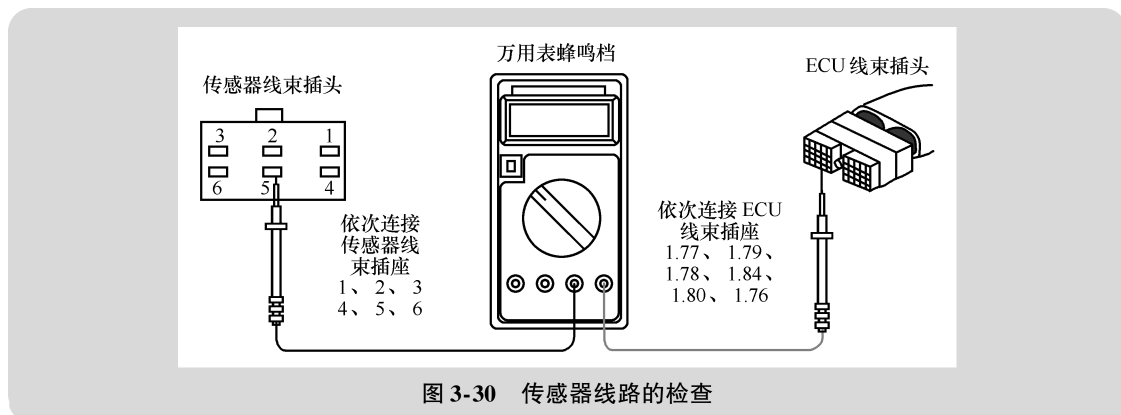


图 3-30　传感器线路的检查


注意

加速踏板位置传感器的动态检查主要是传感器的工作电源和踩踏加速踏板时的信号电压。

（3）传感器工作电源的检查　在关闭点火开关的情况下，将传感器线束插头拔下，然后接通点火开关，用万用表的直流电压档，根据电路图端子功能的标注，在相应的线束插座检查工作电源是否正常，红表笔应接 1.77、1.84，黑表笔应接 1.78、1.76，如图 3-31a 所示。

（4）信号电压的检查　在传感器恢复连接的情况下，用背插式方法将万用表的表笔连接于传感器线束插头上，红表笔连接 1.79 或 1.80，黑表笔连接 1.78 或 1.76（或直接搭铁），接通点火开关，踩踏加速踏板，观察信号电压的变化值是否符合标准，如图 3-31b 所示。

5. 电子式传感器的检查

电子式传感器是众多传感器的统称。不同于热敏电阻、电位计、电磁式和霍尔式传感器，这种划分不一定准确，但**在性能检查方面却有许多共同的特点，一般为三端子，即传感**



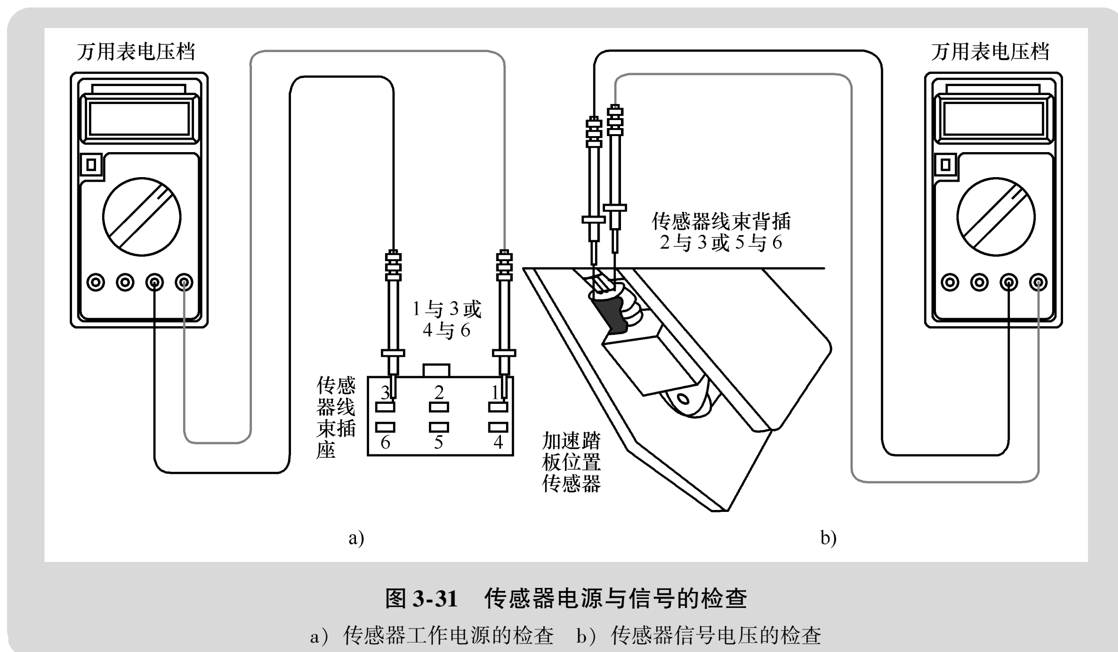


图 3-31　传感器电源与信号的检查

a）传感器工作电源的检查　b）传感器信号电压的检查

器电源、传感器接地和信号端子。例如，空气流量传感器、进气压力传感器、轨管压力传感器等，都不宜做传感器本身的静态检查，只能通电检查。下面以油轨压力传感器为例介绍其检查方法。图 3-32 所示为油轨压力传感器的电路原理。

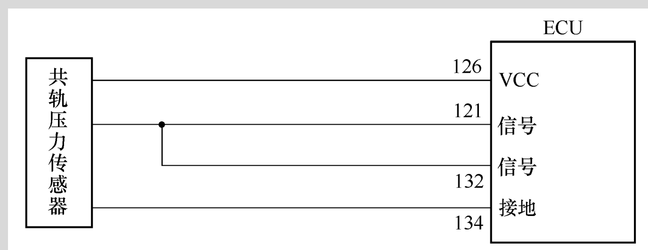


图 3-32　油轨压力传感器电路原理（电装）


注意

电子式传感器的检查主要是线路检查、工作电源检查和信号电压的检查。

（1）线路检查的方法　关闭点火开关，将传感器和 ECU 分别从线束插头上拔下，用万用表蜂鸣档，表笔的一端接传感器线束插座，另一表笔接 ECU 的线束插座，按照线路连接的对应关系，对线路导通情况进行检查。正常情况下，传感器侧至 ECU 侧的线路在蜂鸣器鸣响的同时显示屏显示为 0 或接近 0，否则，检查相关线路，如图 3-33 所示。

（2）传感器工作电源的检查　将点火开关关闭，拔下传感器线束插头，接通点火开关，将万用表的红表笔连接于传感器线束插座的电源端子（连接于 ECU 的 126 端子），黑表笔连接于传感器线束插座的接地端子（连接于 ECU 的 134 端子），接通点火开关，一般为 5V 工作电源，否则，检查相关线路或 ECU，如图 3-34a 所示。

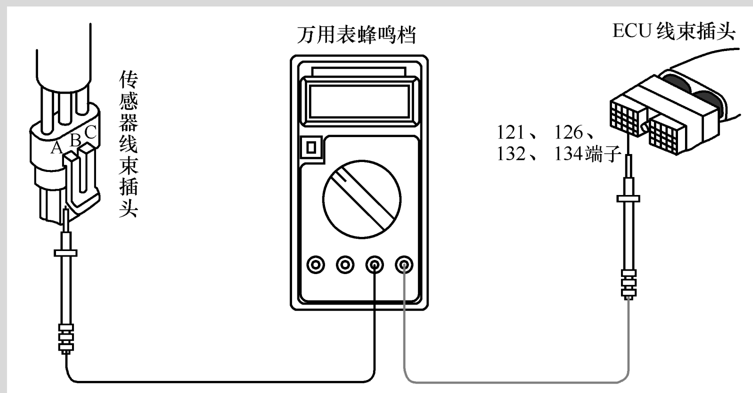


图 3-33　传感器线路的检查

（3）传感器信号电压的检查　将传感器、ECU 线束插头恢复，用万用表的直流电压档，采用背插式的方法，将红表笔、黑表笔分别连接于传感器的信号端（121、132）和接地端（134），接通点火开关，在发动机不同的负荷状态下，信号电压也不同，如图 3-34b 所示。

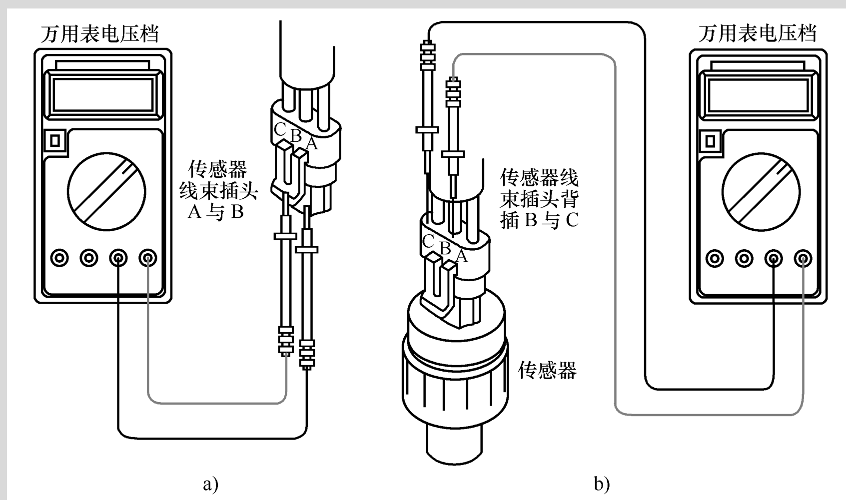


图 3-34　传感器工作电源与信号电压的检查

a）传感器工作电源的检查　b）传感器信号电压的检查

四、开关电路的检查

发动机电子控制系统中使用的开关很多，按开关动作方式一般可分为手动开关、非手动开关两大类型。手动开关即由驾驶人直接用手操作的开关；非手动开关即通过温度、压力或机械作用动作的开关。按开关内部电器结构一般分为单触点（单刀、单掷）和多触点（多掷）开关。按开关的工作状态分为常开型、常闭型和混合型。按开关的操作分为档位开关和选择开关。下面以档位开关和选择开关为例分别介绍。

1. 档位开关

（1）单触点开关　单触点开关在电控系统中用途很广，有常开型和常闭型。开关输送



的信号有电源正极或电源负极，电路如图 3-35 所示。

① 开关性能的检查方法。在开关断电且线束插头拔下的情况下，用万用表蜂鸣档，两个表笔分别触接开关的两端。若是常开型开关，静态时开关两端呈断路状态，万用表蜂鸣档不鸣响，显示屏显示为 1（表示断路），动作时为闭合状态，万用表蜂鸣器鸣响的同时，显示屏显示 0 或接近 0（表示导通）；若是常闭型开关，静态时呈通路状态，两个表笔触接开关两端子时蜂鸣器鸣响，显示屏显示为 0 或接近 0，动作时为断路状态，两表笔触接开关两端子时，万用表蜂鸣器不鸣响，同时显示屏显示为 1（表示断路），如图 3-36 所示。

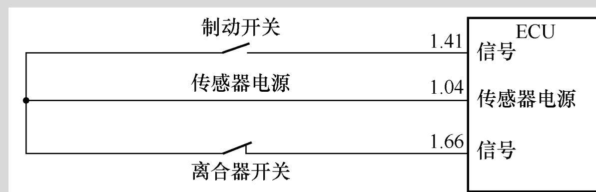


图 3-35　单触点开关电路（博世）

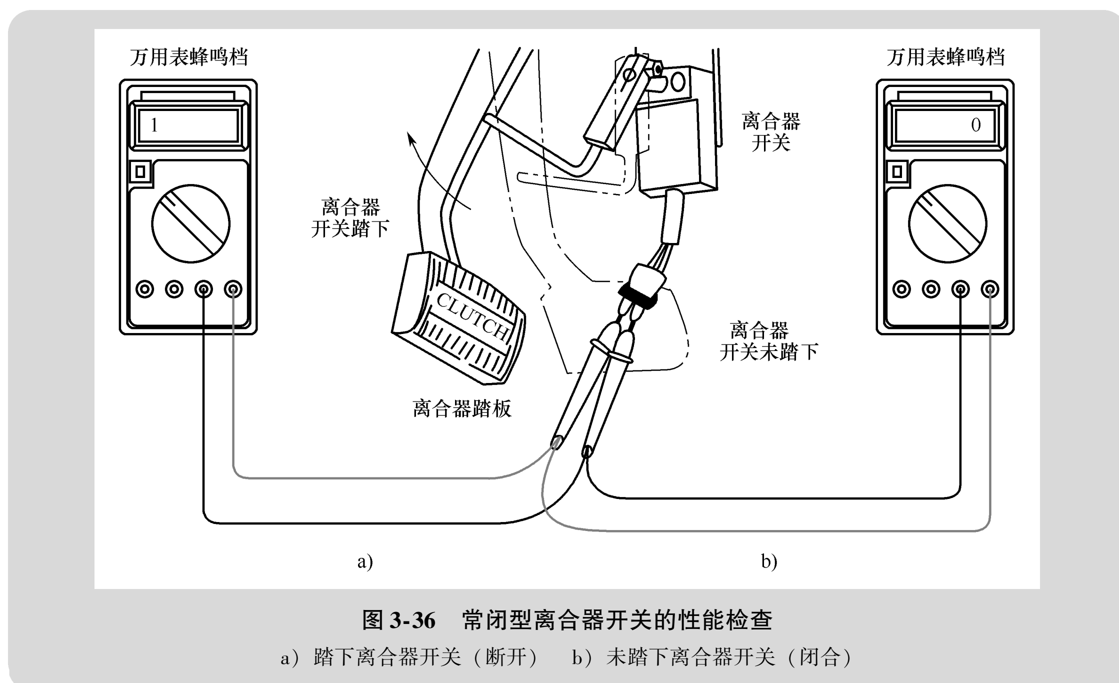


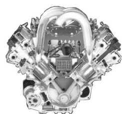
图 3-36　常闭型离合器开关的性能检查

a）踏下离合器开关（断开）　b）未踏下离合器开关（闭合）

② 开关的输入端的检查。开关的输入一般有正极性的电源（12V 或 24V）、电源搭铁，还有可能是 ECU 提供的正极性的传感器电源（5V、12V、24V）或由 ECU 提供负极性的传感器接地等，用万用表电压档进行确认。

将万用表的黑表笔搭铁，红表笔触接开关线束插头的任意一端子，接通点火开关前有电源电压，说明开关输入为常电源。接通点火开关后有电源电压显示，开关输入即为点火供电。若是接通点火开关后显示为 5V，即为 ECU 提供，这样可确认开关输入电源，还可以确认开关输入端子；若是上述检查未发现开关输入正极，可将万用表红表笔找一正极连接，黑表笔触接开关任意端子。此方法还可确认开关输入为电源负极以及开关上的输入端子，如图 3-37 所示。

③ 开关线路检查。用万用表蜂鸣档，将表笔一端触接开关线束侧插头应该与 ECU 连接的端子，表笔的另一端触接 ECU 线束插头应该与开关侧连接的那个端子，正常情况下，万用表蜂鸣器鸣响的同时显示屏应显示为 0 或接近 0，否则，查找线路故障，如图 3-38 所示。



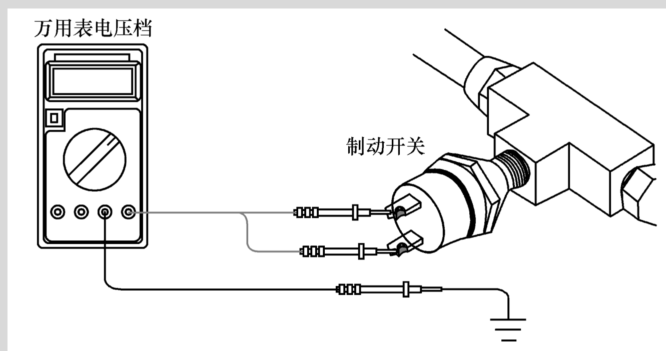


图 3-37　常开型制动开关输入极性的检查

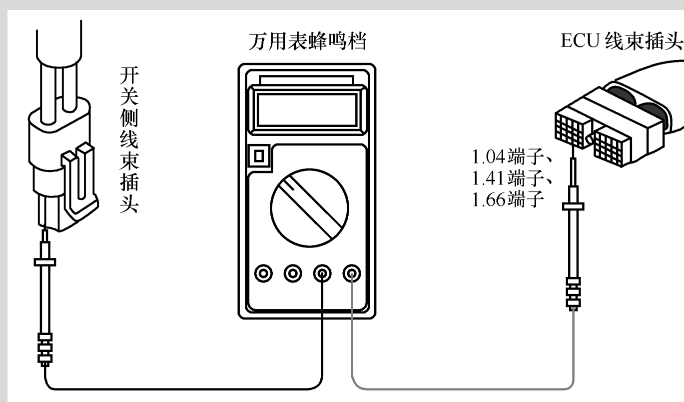


图 3-38　开关线路的检查

（2）多触点开关　多触点开关在电气设备中主要用于鼓风机调速或灯光开关，在发动机电控系统中用得很少。图 3-39 所示为多功能省油开关电路。

图 3-39 所示开关内部电路的结构为一掷（滑动臂）三位（1、2、3）档位开关。假设 ECU 的 1.62 为电源输出端子，开关 1 即为电源输入端子；开关 2 即为输出端子，那么，ECU 的 1.65 就是信号输入端子。静止位置时，开关 1 号端子经滑动臂、1 位串接 R1、R2、R3、R4 四个电阻器由开关 2 号端子输出，通过 ECU 的 1.65 端子送入信号；如果将开关置于 2 位（档）时，开关 1 号端子经滑动臂、2 位串接 R2、R3、R4 三个电阻器由开关 2 号端子输出，通过 ECU 的 1.65 端子送入信号。以此类推，每改变一个档位，开关内部电阻数量就改变，ECU 将得到电压等级不一样的信号电压。

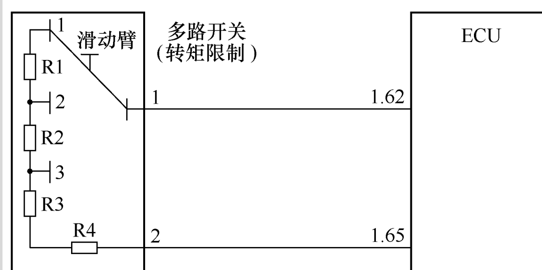


图 3-39　多触点开关电路（博世）

① 开关性能检查。常用万用表的电阻档进行开关性能检查。方法是



在开关断电且拔下线束插头的情况下，将万用表的两个表笔分别连接于开关的两个端子，首先记录原始位置时的电阻值，然后依次改变档位，观察显示屏，电阻值应该有规律的依次递减，如图3-40所示。若出现个别档位电阻表显示为断路，说明开关内部触点或电阻器损坏，应该更换。

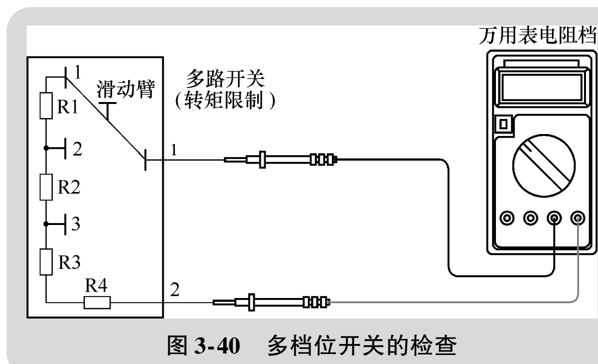


图3-40　多档位开关的检查

② 线路检查。常用万用表蜂鸣档进行线路检查，开关侧与ECU侧的线路应保持良好的导通状态。

2. 选择开关

选择开关在电气设备电路中常用于转向信号灯开关，在发动机电控系统中主要用于巡航控制选择开关，电路如图3-41所示。

下面以K1开关为例进行介绍。

静态时开关没有输出，滑动触点停留在中间位置，根据工作需要可以选择左或右。检查开关一般采用万用表蜂鸣档。图3-42所示的开关检查方法说明如下。

开关拨向左侧时，端子1与端子2导通，对应图3-41，即1.04与1.31导通。

开关拨向右侧时，端子3与端子2导通，对应图3-41，即1.04与1.64导通。

线路检查同样是用万用表蜂鸣档进行检查，开关侧与ECU侧的线路应保持良好的导通状态。

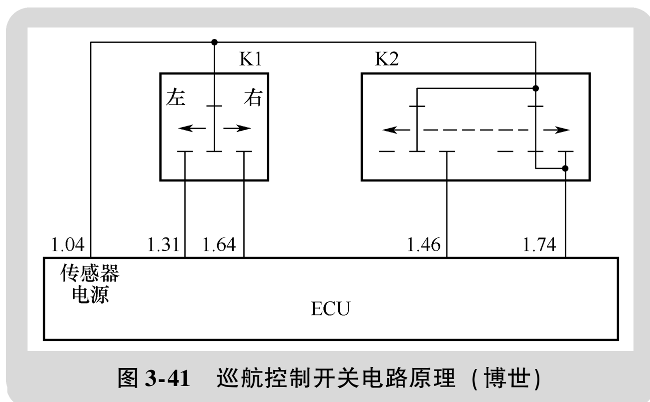


图3-41　巡航控制开关电路原理（博世）

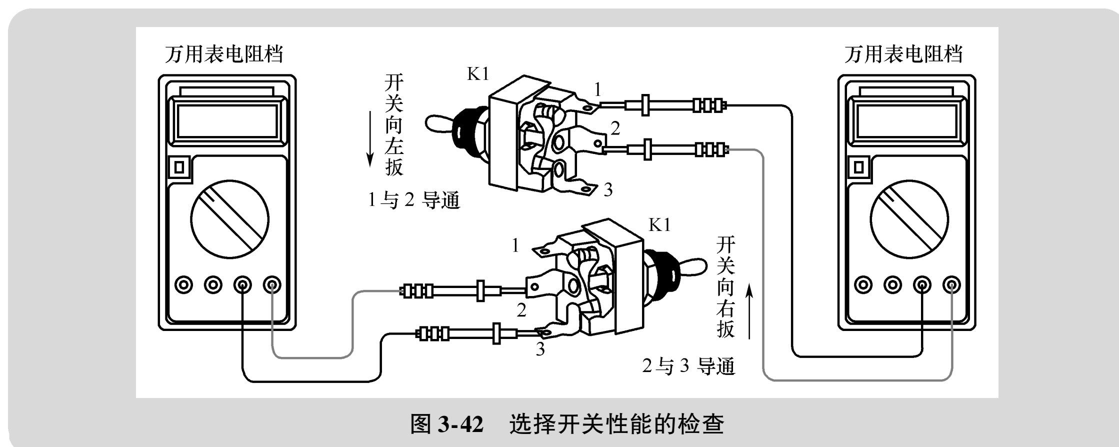
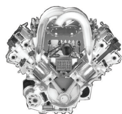


图3-42　选择开关性能的检查



◎◎◎ 第三节　执行器电路 ◎◎◎

一、电装公司执行器电路

图 3-43 所示为电装公司 6DL1 电控系统执行器电路。其主要电路工作情况如下。

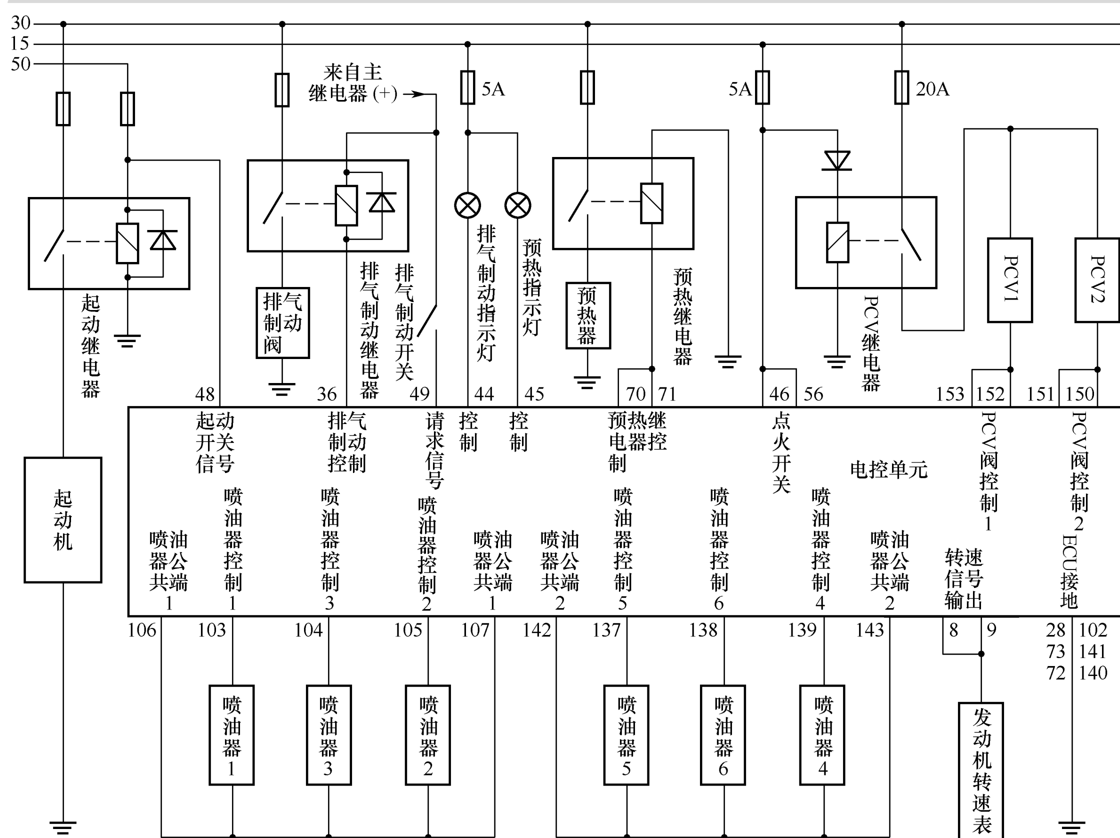


图 3-43　电装 6DL1 电控系统执行器控制电路

1. 喷油器控制电路

喷油器电磁阀是电控系统中的主要执行器之一，受电控单元（ECU）的控制而完成各种工况下的喷油任务。电路中将每三个喷油器分成一组，每组喷油器均有两个公共端子（喷油器 1、2、3 为 106 和 107，喷油器 4、5、6 为 142 和 143）分别送给每个喷油器的电源端，以确保喷油器的电源供电正常。ECU 根据各个传感器提供的信息，对喷油器的另一端（103、104、105、137、138、139）通过喷油时刻、喷油时间的脉冲控制，实现喷油量的精确控制。

2. PCV 电磁阀控制电路

PCV 电磁阀是高压共轨系统燃油压力控制的主要执行器，其主要作用是维持高压共轨内的压力稳定，保持在规定范围内，所以也叫燃油计量单元或燃油压力控制阀。电路中



PCV 电磁阀的电源端采取了继电器控制形式。其工作原理如下。

接通点火开关，PCV 电磁阀继电器电磁线圈得到正电源，经线圈后直接搭铁，构成闭合回路，线圈产生磁力吸合触点；主电路由蓄电池电源（30）经闭合的继电器内部触点将电源正极送给两个 PCV 电磁阀的电源端，做好了准备工作。

发动机工作后，ECU 根据轨压传感器反映的轨管压力信息，对燃油压力控制阀的控制端（PCV1 为 152 和 153；PCV2 为 150 和 151）进行脉冲控制。轨管压力偏高时使 PCV 电磁阀打开；轨管压力偏低时使 PCV 电磁阀关闭，以保证轨管压力符合燃油系统的实际压力。

3. 预热电路

预热电路由预热继电器、加热器（预热塞）和电控单元以及预热指示灯（冷起动灯）等组成。接通点火开关后，电控单元 ECU 的 45 端子输出搭铁信号点亮预热指示灯，预热继电器线圈由 ECU 的 70 和 71 端子输出正极控制信号与线圈的另一端永久搭铁构成闭合回路，线圈磁化吸合触点；电源正极（30）经闭合的继电器触点送给加热器进行加热。ECU 根据温度信息适时切断 70 和 71 端子的控制信号，同时切断 45 端子对预热指示灯的控制，表示预热结束。

4. 排气制动控制电路

排气制动控制电路由排气制动开关、排气制动继电器、电控单元和排气制动指示灯等组成。接通点火开关，主继电器工作后将电源正极送到排气制动继电器线圈的电源端，为排气制动做好了准备工作。当使用排气制动时，驾驶人将排气制动开关接通，ECU 的 49 端子得到排气制动请求信号后，由 ECU 的 36 端子输出排气制动继电器控制的搭铁信号，继电器线圈构成闭合回路，线圈磁化吸合触点，电源正极（30）经闭合的继电器触点至排气制动阀，实施排气制动功能，同时 ECU 的 44 端子输出搭铁信号控制排气制动指示灯点亮，表示排气制动正在工作。

二、博世公司执行器电路

图 3-44 所示为博世公司 6DF3/6DL2 电控系统执行器电路。其主要电路工作情况如下。

1. 喷油器控制电路

喷油器控制电路与电装公司喷油器控制电路相比，外电路中没有喷油器公共电源端子，采用了独立控制的方式，喷油器的作用和工作过程完全一致。

2. 燃油计量单元电磁阀控制电路

高压泵燃油计量单元电磁阀比电装公司少了一个，但作用是相同的，控制电路中没有了继电器，电磁阀的电源端和控制端均由电控单元（ECU）来控制。

3. 预热电路

图 3-44 中的预热继电器的控制，其电磁线圈的两端是由电控单元的 1. 55 和 1. 59 两个端子分别控制，其他功能类似电装公司的预热电路控制。

4. 排气制动电路

排气制动电路由排气制动开关、排气制动电磁阀和电控单元（ECU）等组成。发动机工作后，电控单元的 2. 03 端子输出电源正极，给排气制动电磁阀提供了电源。当使用排气制动时，驾驶人将排气制动开关接通，ECU 的 1. 32 端子得到排气制动的请求信号（负极），由 ECU 的 2. 06 端子输出电磁阀控制信号，电磁阀通电，完成排气制动工作。

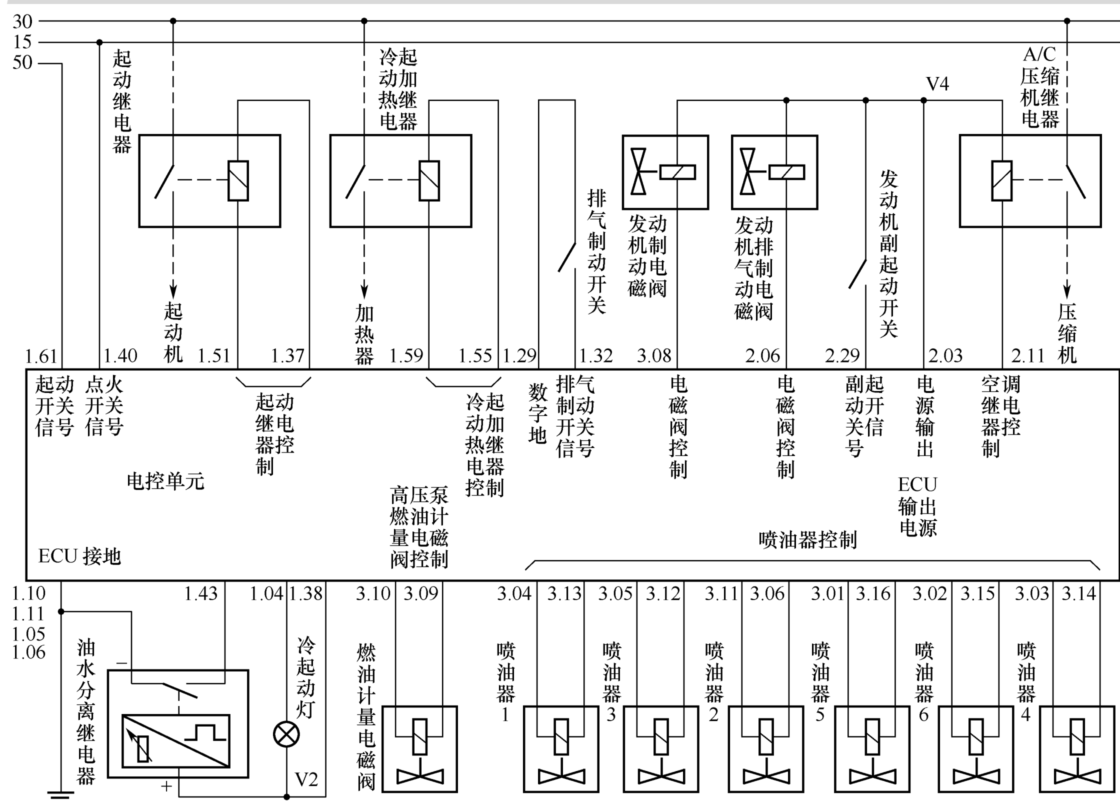


图 3-44　博世 6DF3/6DL2 电控系统执行器电路

5. 起动机控制电路

起动机控制电路由起动开关（副起动开关）、起动继电器、ECU 和起动机等组成。档位开关处于空档位置时，起动机的工作方法有两种：

一种是起动开关将起动信号送至 ECU 的 1.61 端子；另一种是副起动开关将起动信号送至 ECU 的 2.29 端子（图中未画）。无论哪一种起动信号送至 ECU 后，ECU 会通过 1.37 和 1.51 端子将起动控制信号送至起动继电器的电磁线圈，使起动继电器工作，进而使起动机工作。

三、执行器电路的检查

在汽车电气设备中执行器一般可分为三大类型，即灯泡、电动机和电磁阀。在发动机电控系统中电磁阀采用较多，如喷油器电磁阀、燃油压力控制阀（燃油计量单元或 PCV 阀）、排气电磁阀等。

1. 电控喷油器

喷油器电磁阀是电控喷油器中的电控部分，主要由电磁线圈和铁心等组成。根据发动机的气缸数安装相应数量的喷油器。电控喷油器电路原理如图 3-45 所示。



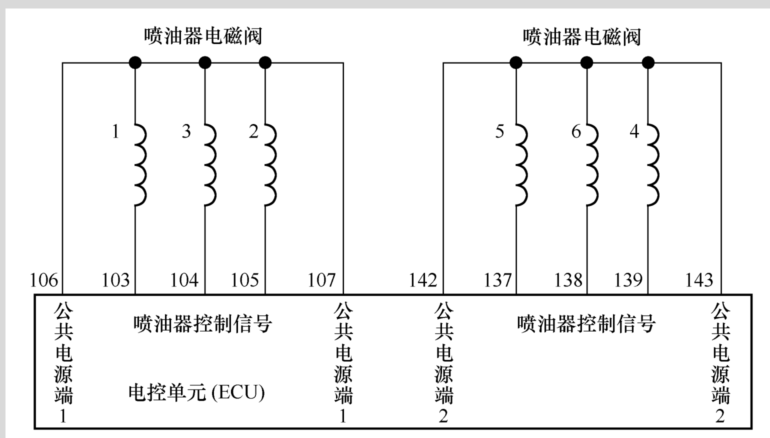


图 3-45　喷油器电路原理（电装）

喷油器电磁阀是电控系统中关键的执行器，燃油喷射系统喷油量的多少、喷油时刻的确定，都是由电控单元（ECU）接收各种传感器的信息，经过分析、处理、计算之后，发出控制指令，由喷油器电磁阀来具体完成的。

（1）喷油器电磁阀的检查　喷油器电磁阀的检查主要是检查电磁线圈的电阻值。方法是用万用表电阻档，在关闭点火开关的情况下，将喷油器线束插头拔下，将万用表的红、黑表笔触接喷油器的接线柱或端子，正常线圈阻值应该在 0.5Ω 左右，如图 3-46 所示。

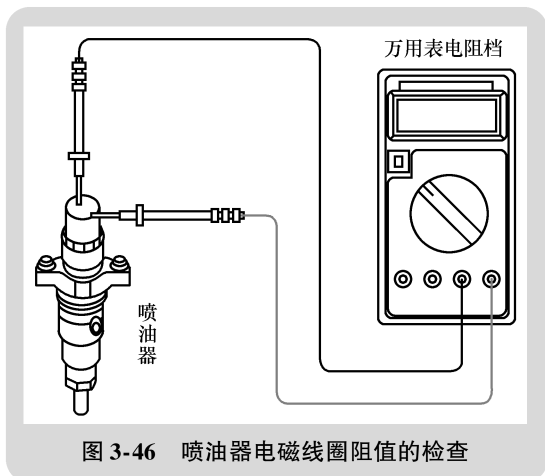


图 3-46　喷油器电磁线圈阻值的检查

（2）喷油器电磁阀公共电源端的检查　电路中公共电源端与控制端一样，是直接连接在 ECU 上的，属于电流控制型喷油器。由于共轨管压力随发动机工况变化很大，故喷油器电磁阀需同步调整电流，所以 ECU 内部喷油器电磁阀电源正极设有升压电路，根据发动机不同工况随时调整。发动机负荷小时可测到的喷油器电源正极电压较小，一般只有几伏，而发动机负荷较大或起动时电压较高，有时可达 50V 左右，检查时可通过万用表直流电压档进行测试。

按照图 3-45 所示，每三个喷油器有两个公共电源供电端子，并且有一定的代表性，即每三个喷油器的一端并联，然后连接公共电源供电端子。检查时，将点火开关关闭，拔下喷油器线束插头，在喷油器线束插头用万用表蜂鸣档找到公共端子，接通点火开关，不起动发动机，用万用表电压档，黑表笔搭铁，红表笔触接喷油器电源端子，正常情况应为 4V 左右，否则，检查相关线路或熔断丝，如图 3-47 所示。

（3）喷油器线路的检查　喷油器线路检查主要是检查喷油器侧与 ECU 线束侧之间导线的导通状态。方法是用万用表蜂鸣档，表笔一端触接喷油器线束插头的插座，另一表笔触接 ECU 线束侧相应的插座，正常导通应该是蜂鸣器鸣响的同时，显示屏显示为 0 或接近 0，依次对 6 个喷油器的控制端子进行检查，如图 3-48 所示。

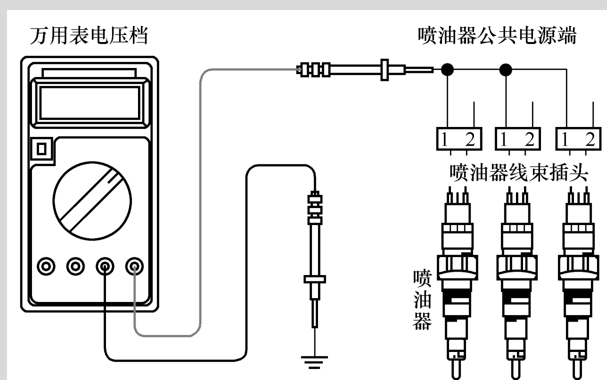


图 3-47　喷油器电源的检查

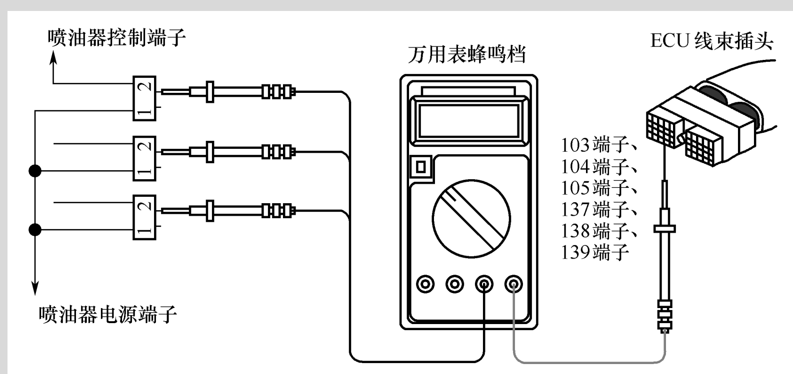


图 3-48　喷油器线路的检查

（4）喷油器脉冲控制信号的检查　在没有示波器的情况下，可采用万用表电压档，恢复喷油器线束插头，采取背插式的方法，将两个表笔连接于喷油器线束插头内，起动发动机，在曲轴转动的同时，电压表应有脉动的信号电压显示；或将 LED 测试灯用背插式方法连接于喷油器线束，同样在发动机转动的同时，应能看到测试灯闪烁，如图 3-49 所示。

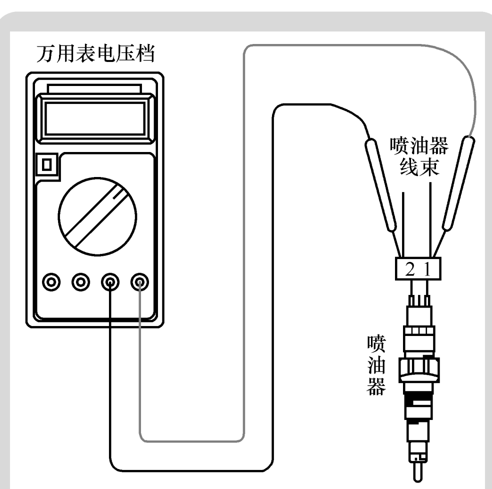


图 3-49　喷油器脉冲控制信号的检查

2. 燃油压力控制阀

燃油压力控制阀安装在高压泵上，是典型的电磁阀，根据高压泵的不同结构，有装用一个的，也有装用两个的。它的主要作用是，控制高压共轨管内的燃油压力保持在发动机各种工况下理想的设定值范围内，所以，燃油压力控制阀工作在占空比状态。电路如图 3-50 所示。



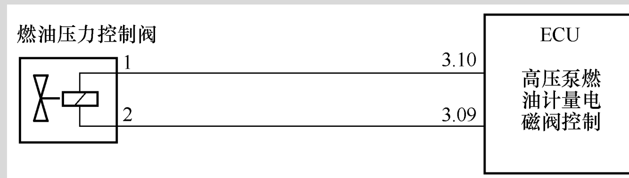


图 3-50　燃油压力控制阀电路

（1）燃油压力控制阀电磁阀线圈阻值的检查　关闭点火开关，将燃油压力控制阀的线束插头拔下，用万用表电阻档进行检查。正常情况下线圈阻值在 3.2 ~ 3.6Ω，如图 3-51a 所示。

（2）燃油压力控制阀供电电源的检查　关闭点火开关，将燃油压力控制阀线束插头拔下，接通点火开关，用万用表电压档（或测试灯）检查其供电情况。红表笔触接压力控制阀线束插头，黑表笔搭铁。正常情况下，应有蓄电池电源电压（12V 或 24V），如图 3-51b 所示。

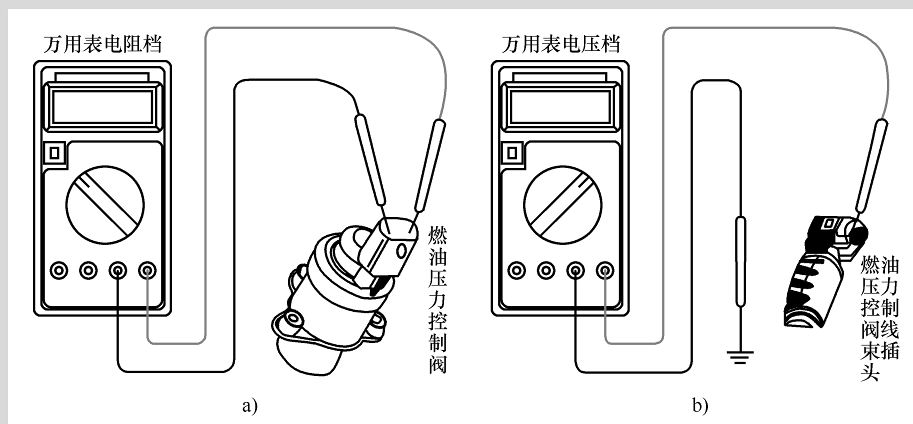


图 3-51　燃油压力控制阀的检查
a）电磁阀线圈阻值的检查　b）电磁阀供电电源的检查

（3）燃油压力控制阀线路的检查　在关闭点火开关的情况下，将燃油压力控制阀线束插头和电控单元线束插头拔下，用万用表对其线路进行检查。正常情况下，线路导通时在蜂鸣器鸣响的同时显示屏显示为 0 或接近 0，否则，检查相关线路，如图 3-52 所示。

（4）燃油压力控制阀控制信号的检查　将线路和元件恢复，用背插式方法，将万用表的表笔连接于燃油压力控制阀的线束插头上，或将 LED 测试灯背插在燃油压力控制阀的线束插头上，起动发动机，观察万用表电压表是否有脉动电压显示或 LED 测试灯的闪烁情况，有电压显示或测试灯闪烁即为正常，否则，为 ECU 故障，如图 3-53 所示。

3. 预热装置

预热加热在低温下能改善发动机的起动性能，防止发动机冒白烟。ECU 根据冷却液温度传感器的温度信息，低于 19℃时，ECU 通过 70 和 71 端子输出（正极）预热继电器控制

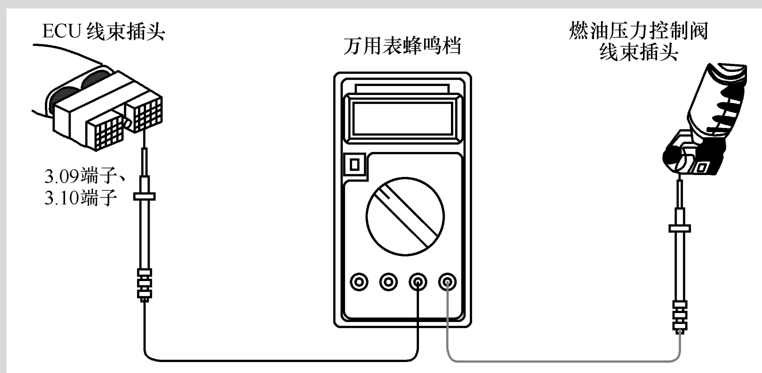


图 3-52　燃油压力控制阀线路的检查

信号，使加热器加热，同时 ECU 由 45 端子输出搭铁信号控制预热指示灯点亮，表示预热开始。电路如图 3-54 所示。

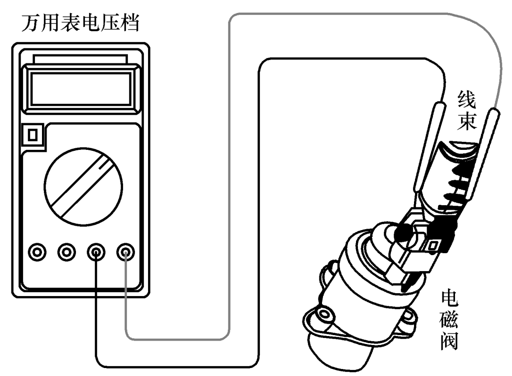


图 3-53　燃油压力控制阀控制信号的检查

预热继电器在 ECU 电源供电正常情况下才能工作，这就需要对继电器的工作条件、加热器以及线路和控制信号等进行检查。

（1）继电器线路的检查　检查完预热继电器线圈电阻值之后对继电器线路进行检查。方法是用万用表蜂鸣档，在关闭点火开关的情况下，将继电器和 ECU 的线束插头拔下，将表笔的一端触接继电器的 3

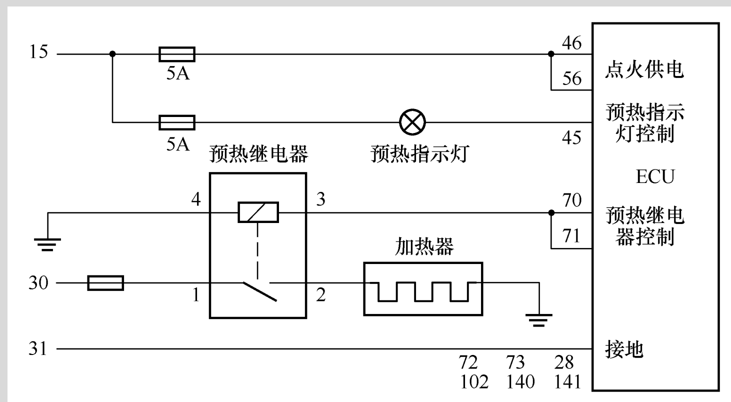


图 3-54　预热加热器控制电路（电装）

端子，表笔的另一端触接 ECU 的 70 和 71 端子，正常情况下在蜂鸣器鸣响的同时，显示屏应显示为 0 或接近 0，如图 3-55 所示。

（2）预热继电器电源的检查　关闭点火开关，将继电器拔下，用测试灯的一端触接继



电器的 1 端子，另一端搭铁，测试灯点亮为正常；再将测试灯的一端连接继电器的 1 端子，另一端触接继电器的 4 端子，测试灯点亮，说明继电器搭铁正常，如图 3-56a 所示。

（3）继电器线圈控制信号的检查　用万用表电压档，表笔背插于继电器的 3、4 端子，接通点火开关，应显示电源电压（12V 或 24V），如图 3-56b 所示。

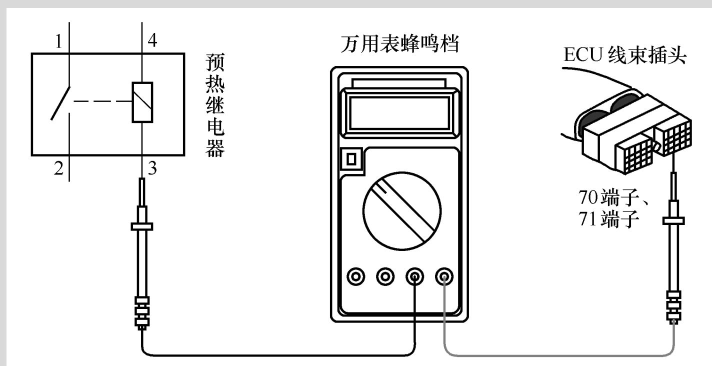


图 3-55　预热继电器控制线路的检查

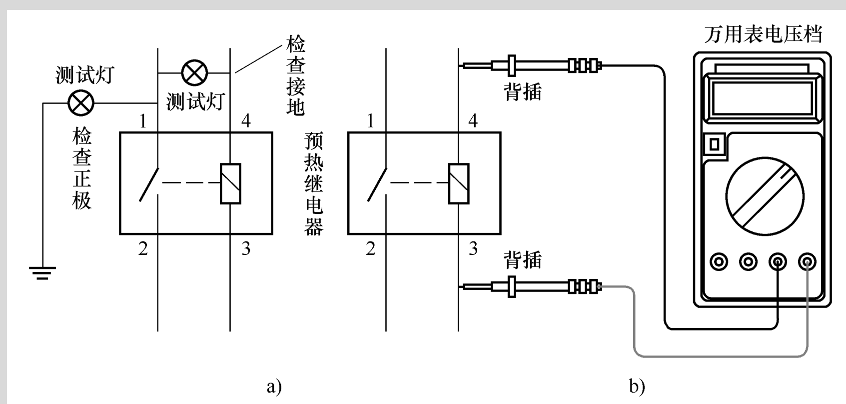


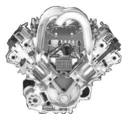
图 3-56　继电器电源和控制信号的检查

a）继电器电源、搭铁检查　b）继电器控制信号检查

（4）加热器的检查　加热器的检查主要是检查加热器的电阻值，方法是关闭点火开关，将加热器的接线柱拆下，用万用表的电阻档，表笔的一端接加热器的搭铁端，表笔的另一端触接加热器的电源接线端子，正常时应约为 1.5Ω，如图 3-57 所示。

4. 排气制动

在发动机转速不低于 1500r/min 时，没有使用巡航控制、没有踏下加速踏板、没有踏下离合器踏板的情况下，将排气制动开关闭合时，ECU 的 1.32 端子会收到排气制动开关送出的极性为搭铁的请求信号，ECU 将通过 2.03 端子输出电源正极、2.06 端子输出控制信号到排气制动电磁阀。电路如图 3-58 所示。



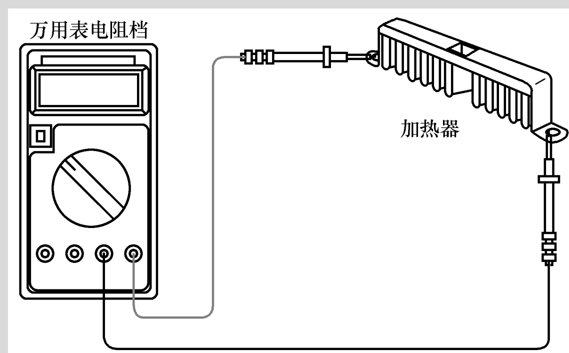


图 3-57　加热器的检查

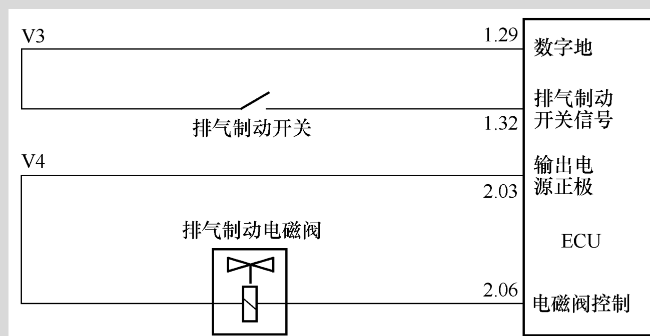


图 3-58　排气制动电路（博世）

注意

排气制动阀的工作情况要检查排气制动开关及线路、排气制动电磁阀、线路以及电源和控制信号。

（1）排气制动开关的检查　用万用表蜂鸣档，断电后拔下开关线束，将两个表笔分别连接于开关两端子，应为断开状态，即万用表蜂鸣器不鸣响，显示屏显示 1；将开关接通，万用表蜂鸣器鸣响，显示屏显示为 0 或接近 0 为正常，如图 3-59a 所示。

线路检查时，关闭点火开关，拔下 ECU 线束插头与开关线束插头，将表笔一端连接于开关线束插座的任意插孔，另一表笔触接 ECU 的 1. 29 和 1. 32 端子，两条导线正常情况下都应在蜂鸣器鸣响的同时，显示屏显示为 0 或接近 0，如图 3-59b 所示。

（2）排气制动电磁阀的检查　主要检查电磁线圈的电阻值。在关闭点火开关的情况下，将排气制动电磁阀和 ECU 的线束插头拔下，用万用表电阻档的两个表笔连接于排气制动电磁阀的接线柱上，正常电阻值约为 50Ω，如图 3-60a 所示。



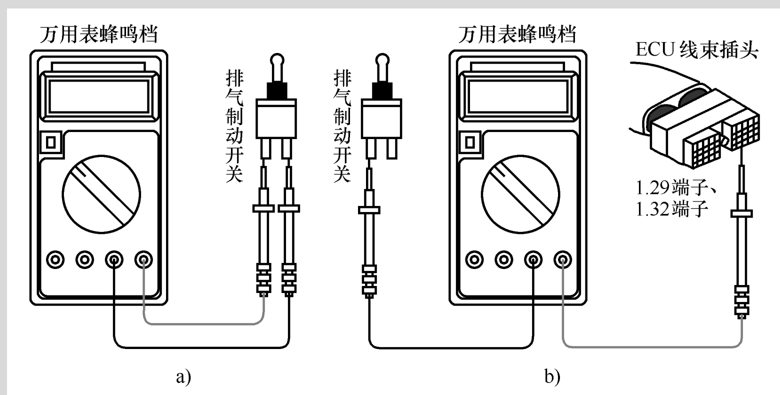


图 3-59　排气制动开关及线路的检查

a）开关性能的检查　b）开关线路的检查

线路检查时，用万用表的蜂鸣档测量电磁阀线路的导通情况，方法是表笔的一端触接电磁阀的线束插座，另一端触接 ECU 线束插头的 2. 03 和 2. 06 端子，两条导线正常情况下应该在蜂鸣器鸣响的同时，万用表显示屏显示为 0 或接近 0，如图 3-60b 所示。

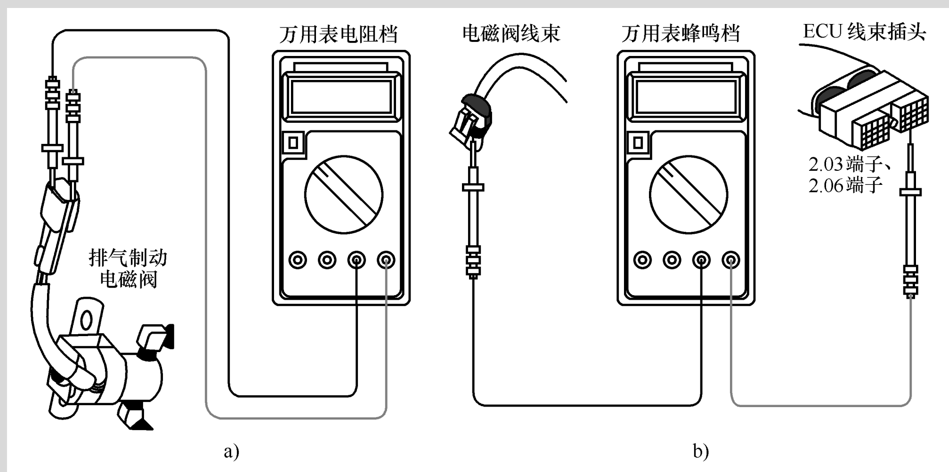


图 3-60　排气制动电磁阀及线路的检查

a）排气制动电磁阀电阻值的检查　b）排气制动电磁阀线路的检查

（3）排气制动电磁阀电源的检查　关闭点火开关，拔下电磁阀线束插头，用万用表电压档，红表笔接电磁阀线束插头的电源端子，黑表笔搭铁，接通点火开关，应该有电源电压（12V 或 24V），如图 3-61a 所示。

（4）电磁阀控制信号的检查　将电磁阀线束插头恢复，用背插式方法将万用表电压档的两个表笔背插在电磁阀线束插头，发动机工作时，打开排气制动开关后，电压表应该显示电源电压（12V 或 24V），如图 3-61b 所示；或者如图 3-61a 所示，再将红表笔插接在电磁阀线束插头的另一端子内，在打开排气制动开关时也同样看到万用表电压表显示电源电压。

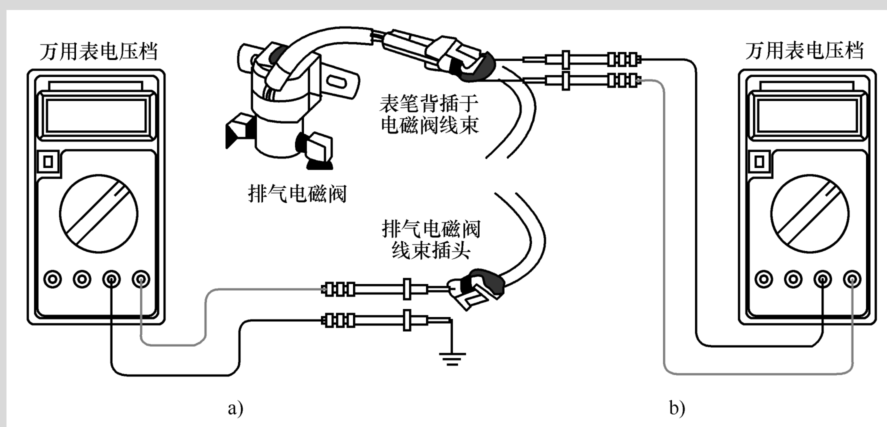


图 3-61　电磁阀电源和控制信号的检查

a）电磁阀电源的检查　b）电磁阀控制信号的检查



第四章



柴油机高压共轨电控系统故障诊断与维修



第一节　发动机电控系统故障检测程序和方法



电控燃油喷射系统的工作状况对发动机的运转性能有很大的影响，不论是该系统的控制电脑、控制线路还是其他任何一个传感器、执行器出现故障，都会在一定程度上影响发动机的起动性、运转稳定性、动力性和经济性等。因此，当发动机出现故障或性能下降时，首先应检查发动机的燃油喷射控制系统有无故障。

由于电控燃油喷射系统的构造和工作原理比较复杂，不同车型的电控燃油喷射系统往往有很大的差异，其故障既可能是电控方面的，也可能是机械方面的，因此给故障的检查和排除带来一定的困难。在检查和排除电控燃油喷射系统的故障时，首先应该了解各种燃油喷射系统的工作原理以及构造和特点，借助维修车型的技术资料，合理利用各种检测工具和检测手段。除此之外，还应该有清晰的诊断思路和故障分析方法，遵循科学的诊断程序和步骤，这是十分重要的。

一、故障诊断的基本原则

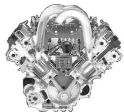
发动机的电子控制系统是一个精密而又复杂的系统，故障的诊断也较为困难。而造成电喷发动机不工作或工作不正常的原因是多方面的，可能是电子控制系统，也有可能是电子控制系统以外其他部分的问题，故障检查的难易程度也不一样。检修故障时如能遵循故障诊断的一些基本原则，就可以少走一些弯路，提高效率，进而准确、迅速地找出故障所在。

1. 先外后内

发动机出现的故障，不一定全是由电子控制系统造成的，首先观察电控系统的故障指示灯，如果指示灯没有常亮或闪烁显示故障，则基本可以作为机械故障或电源、搭铁供电缺陷来进行处理。如果指示灯点亮，可以通过闪码来知道故障位置，进而进行相应处理。所以应对电子控制系统以外的可能故障部位进行检查。这样可避免本来是一个与电子控制系统无关的故障，却对系统的传感器、控制电脑、执行器及线路等进行检查，这样既费时又耗力，真正的故障往往是较容易查找到却被忽视的。

2. 先简后繁

发动机出现的故障绝大多数是比较简单的故障，或者说简单故障所占的比例远远大于疑难故障，能以简单方法检查的可能故障部位应先予以检查。比如直观诊断最为简单，可以通



过看、摸、听等直观检查方法将一些较为显露的故障迅速地找出来。若直观诊断未找出故障，需借助于仪器、仪表或其他专用工具来进行诊断时，也应对较容易检查的先予以检查。比如检查电控系统线束的连接状况，传感器或执行器有无明显的损伤，器件、线束间的电气连接是否良好，有无松动或断开，电线是否有明显磨破或搭铁现象，电气连接的插头和插座有无腐蚀现象等。

3. 先熟后生

现代汽车由于设计、制造和技术以及使用环境等原因，出现故障往往带有某个车系或生产厂家的一些特点。例如，发动机的某一故障现象可能是以某些总成或部件的故障最为常见，**应先对这些常见故障部位进行检查**。若未找出故障，再对其他不常见的可能故障部位予以检查。这样做有利于迅速地找到故障，提高维修效率。

4. 代码优先

现代车辆大多具有故障自诊断功能，发动机运行时，**故障自诊断系统随时监测运行情况，一旦监测到故障，便以代码的形式将该故障储存到电脑的存储器内，同时通过“检测发动机”等故障警告灯向驾驶人报警。**检修故障时，可通过人工或仪器读取故障码，根据对应的手册查出故障码指出的故障，从而排除故障。待故障码所指的故障消除后，如果发动机故障现象还未消除，或者开始就无故障码输出，则再对发动机可能的故障部位进行检查。

5. 先思后行

检修故障时，首先应进行故障分析，了解可能的故障原因有哪些，然后再进行故障检查，这样可避免对与故障现象无关的部位做无效的检查，又可避免对一些有关部位漏检而不能迅速排除故障。

6. 先备后用

电控系统工作的好坏，往往与系统中的电器部件的性能和电气线路有一定的关系，一般情况下通过电压或电阻等参数来判断。如果没有这些维修数据，将会对电控系统的故障检查带来许多困难，所以有些时候常采取新件替换的方法，这些方法虽然简单，但有时新件不及时会影响工作，况且也难免会造成维修费用和工时费用的增加。**因此在检修车辆时，应尽可能地准备好有关的维修数据和相关的维修资料。**除了从维修手册、专业书刊上搜集整理这些检修数据资料外，另一个有效的途径是利用无故障车辆对其系统的有关参数进行测量，并记录下来，作为日后检修同类型车辆的检测比较参数。

注意

特别注意：电喷发动机的故障并非一定出在电子控制系统。如果发现发动机有故障，而故障警告灯并未点亮（未显示故障码），大多数情况下该故障可能与发动机电控系统无关，此时，就应该像发动机没有装电控系统那样，按照基本诊断程序进行故障检查。否则，可能遇到一个本来与电控系统无关的故障，却检查电控系统的传感器、执行器和电路等，花费了很多时间，而真正的故障反而没有找到。

二、电喷发动机故障诊断的基本方法

电喷发动机故障诊断可分为初步诊断和深入诊断。初步诊断是根据故障的现象，判断出故障产生原因的大致范围。深入诊断是根据初步诊断的结果对故障原因进行分析、查找，直



到找出产生故障的具体部位。

电喷发动机故障诊断所采用的手段，可分为直观诊断、利用自诊断系统诊断、简单仪表诊断和专用诊断仪器诊断等。

1. 直观诊断



注意

直观诊断就是通过人的感觉器官对汽车故障现象进行看、问、听、试、嗅等，了解和掌握故障现象的特点，通过人的大脑进行分析、判断得出结论的诊断方法。

直观诊断方法根据诊断者的经验和对诊断车辆的熟悉程度，在运用的范围上有极大的差别。经验丰富的专家，可以利用直观诊断方法诊断发动机可能出现的绝大多数故障，包括对确定故障性质的初步诊断和确定具体故障原因的深入诊断。

直观诊断主要包括以下方面内容。

看。即目测检查，其目的是了解电喷发动机的电控系统类型、车型，在进入更为细致的测试和诊断之前，能消除一些一般性的故障原因。

问。了解故障出现时的情形、条件、如何发生及是否已检修过等与故障有关的情况和信息。

听。主要听发动机工作时的声音，有无工作粗暴、有无敲缸、有无失速、有无进气管或排气管放炮等。

试。根据前述检查，有针对性地试车，以便进一步确定故障。

2. 利用随车自诊断系统诊断

随车故障自诊断可以对系统的故障进行自诊断，在电喷发动机故障诊断中是一种简便快捷的诊断方法，但是其诊断的范围和深度远远满足不了实际使用中对故障诊断的要求，常常出现发动机运行不正常而故障产生的原因可能与发动机电喷系统无关，另一方面则是由于随车自诊断功能的局限性所造成的，不可能设计出一种自诊断系统对其所有可能产生的故障部位进行诊断。因此，以直观诊断方法为主进行检查和判断的工作在任何时候对任何系统来说，都是不可替代的。

随车自诊断系统通常只能提供与电喷系统有关的电气装置或线路故障，一般只能做出初步诊断结论，具体故障原因，还需要通过直接诊断和常规仪器仪表进行深入诊断。

3. 利用常规仪器诊断

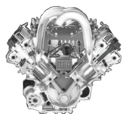
利用常规仪器诊断，就是利用以万用表和示波器为主的通用仪表，对电控发动机故障进行诊断的方法。**这种诊断方法的特点是诊断方法简单、设备费用低。因此，这种诊断方法可用于对故障进行深入诊断。**其缺点是对操作者的要求较高，在利用简单仪器诊断时，操作者必须对系统的结构和线路连接情况有相当详细的了解，才可能取得满意的诊断效果。

4. 利用专用诊断仪诊断

采用专用诊断仪可大大提高对电子控制系统的诊断效率。但是由于专用诊断仪器成本较高，因此各种电脑诊断仪一般适用于专业化的故障诊断和修理厂家。

三、电控发动机故障诊断的基本流程

通过与车主或有关人员的咨询，了解故障的产生、发展的全过程，以及过去的故障状



况、检修状况和车辆状况等，从而为诊断寻找线索，为进一步检查指出方向。

直观诊断（前边已有介绍）。

人工或仪器读取并验证故障码，查清故障码表示的故障是否存在，即是否故障已排除，而其故障码仍末清除。

若无故障码，对有明显故障征兆的，可用诊断仪、示波器、万用表等读取有关发动机数据，进行数值、波形分析；并依据分析结果，检查有关部件，视需要进行维修或更换。若无明显故障征兆，则采用症状模拟方法对故障进行分析，以进一步检查故障的原因。

若有故障码，则根据故障码的内容检查并排除故障。

重新起动发动机，验证故障是否已排除。若故障未排除，则继续检查故障原因。

四、故障征兆的模拟方法

在诊断中最困难的情形是有故障，但没有明显的故障征兆。在这种情况下必须模拟与车辆出现故障时相同或相似的条件和环境，然后进行彻底的故障分析。无论维修人员经验如何丰富，也无论他技术如何熟练，如果他对故障征兆不经验证就进行诊断，则将会在修理工作中忽略一些重要的东西，以及在有些地方会判断错误，这必将导致车辆的运行故障。例如，对那些只有在发动机冷态下才出现的问题，或者由于车辆行驶时振动引起的问题等，这些问题决不能仅仅依靠发动机热态和车辆行驶时故障征兆的验证来确诊。下面介绍的故障征兆模拟试验是一种有效的措施，它可以帮助你在停车条件下判断出故障所在。

在模拟试验中，故障征兆固然要验证，故障部位或零件也必须找出。为做到这一点，在开始试验之前，必须把可能发生故障的电路范围缩小，然后进行故障征兆模拟试验，判断被测试的电路是否正常，同时也验证了故障征兆。

1. 振动模拟法

当认为振动可能是主要原因时，可在垂直和水平方向轻轻摇动线束或器件插接器以及穿线孔处的配线，对可疑器件应轻轻摇晃或振动，以检查其接触情况，如图 4-1 所示。

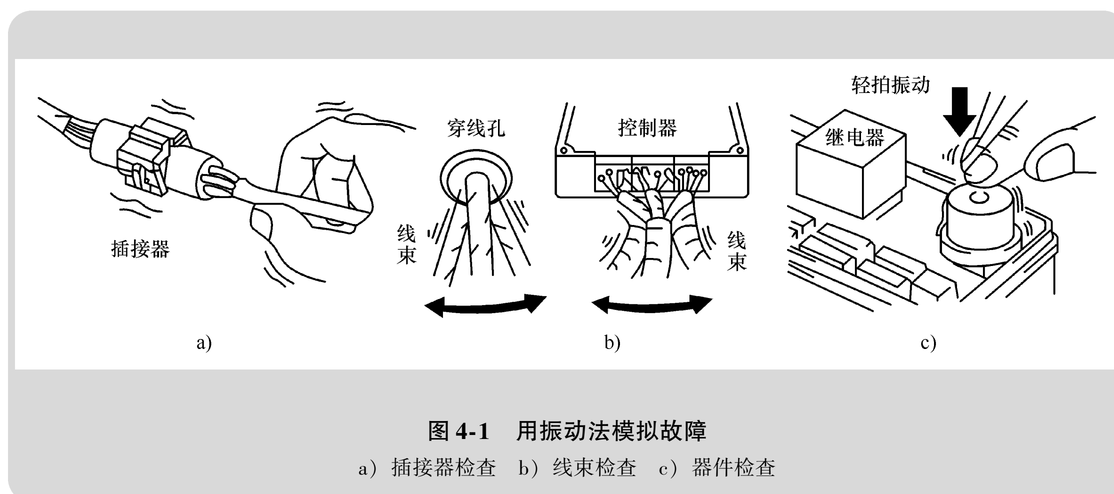


图 4-1 用振动法模拟故障

a）插接器检查 b）线束检查 c）器件检查

2. 加热模拟法

当怀疑某一电器或电子控制器件可能因某种原因受温度影响而引起故障时，可采用对怀



疑器件加温试验的方法，通常较为方便的工具为电吹风机或类似工具，对可能引起故障的器件进行加热试验，观察或检测是否故障再现，如图 4-2 所示。但对器件的加热温度一般不得高于 60℃，对电子控制器特别是 ECU 中的电子元件不可直接加热。

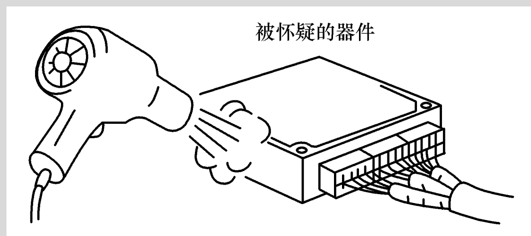


图 4-2　用加热法模拟故障

3. 加湿模拟法

当故障可能是在雨天或高湿度环境中出现时，可采用加湿模拟试验的方法，检查故障是否发生，如图 4-3 所示。将水喷淋在车辆上，但不可将水直接喷在发动机电器件或电插接器上，而应喷在散热器前面间接地改变温度和湿度，避免电子控制器，特别是 ECU 进水引起短路故障，操作时要多加注意。



图 4-3　用水淋法模拟故障

4. 电器全接通法

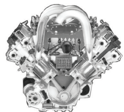
当怀疑故障可能是用电负荷过大而引起时，可将车辆上尽可能多的或者是所有电器负载接通，特别是空调压缩机、鼓风电动机、前照灯、后窗除雾、刮水器和冷却风扇电动机等大负荷用电器等，检查故障是否能够再现。

五、基本检查

检查电喷发动机故障，首先要掌握电喷发动机的控制原理、传感器和开关的信号类型和标准数值，看懂电路图，了解机械系统的结构特点和参数。其次要掌握检测流程，先查什么，后查什么，查到某一个部件时产生两种情况，如正常怎么继续检查，不正常又怎么继续检查。不同的故障现象，检查流程不完全一样，但基本流程差不多，根据不同的故障现象，有的项目可以省略不查，有的需重点检查。

检查发动机未工作时的蓄电池电压，应不低于本车型标定的电压（12V 或 24V）；发动机工作时，正常的发电量应该在规定的电压范围内（12V 车辆为 13. 5 ~14. 5V 之间，24V 的车辆为 26. 5 ~28V 之间）。

检查发动机能否转动，若发动机根本不转，则首先应当检查是起动电路还是发动机故障并排除故障。



检查发动机能否起动，若不能起动，则应分别检查油路和电路，确定故障后有目的、有重点地加以排除。

检查空气滤清器，若脏污或堵塞，应清洗或更换滤芯。

检查怠速转速是否正常，若不正常，则应先检查影响怠速转速的相关故障部位。

检查喷油时刻（汽油发动机检查点火正时），若不正常．应进行调整或更换相应部件。

◎◎◎ 第二节 汽车自诊断系统 ◎◎◎

现代汽车电子控制系统越来越复杂，电控系统已不仅仅是独立的存在，各个电控系统或多或少都有一定的相互联系，当发生故障时要判断故障的部位相对困难。因此，在电子控制系统中，一般都具有故障自诊断功能。**系统工作时，对于传感器的输入信号、软件的操作是否正确以及电子控制器中的电源、驱动电路是否发生了故障都会进行监测。当诊断系统检测到故障时，就会在存储器中以代码的形式记录下该故障和相应的发动机运行参数，同时诊断系统还将根据现行故障的类型和严重程度，点亮不同的故障指示灯，用于提醒驾驶人。**故障指示灯包括报警指示灯“WARNING”、停机指示灯“STOP”、等待起动指示灯“WAIT—TO—START”和保养指示灯“MAINTENANCE”。

例如，当发动机控制电脑检测到来自传感器和执行器的故障时，立即将“检查发动机”（CHECK ENGINE）故障指示灯点亮，同时将故障信息以代码的形式存入存储器中。故障码一旦存入，即使将点火开关关闭，指示灯熄灭，故障码仍然会保留在存储器中。

对车辆进行检修时，借助于电控系统的故障诊断接口（插座），通过人工或使用故障诊断仪（亦称电脑检测仪或电脑解码器），可以将 ECU 存储器中的故障码调出，并以灯光闪烁的方式或直接由诊断仪显示屏以数字形式显示出来，从而帮助维修人员迅速、正确地判断故障的类型和范围。故障排除后，同样按特定的程序，用人工方法或借助于诊断仪，将控制电脑存储器中储存的故障码清除掉，以免与新产生的故障码混淆，给检修带来困难。

一、自诊断原理与故障码


注意

汽车在运行时，电子控制系统输入、输出信号的电压值都有一定的变化范围，当某一信号的电压值超出了这一范围，并且这一现象在一定时间内不会消失，控制电脑便判断为这一部分出现了故障，并将故障以代码的形式存入内部存储器中，这样，维修人员在检修发动机故障时，可以调出控制电脑内储存的故障信息，以便进一步缩小故障范围，这就是自诊断原理。

需要说明的是，故障码只表明故障的结果，它可以指明故障的大致范围，但不能直接确定故障的确切部位。在获取故障码后，还需进一步检查，以找出发生故障的部位和线路。

二、自诊断故障信息显示

位于仪表板上的“检查发动机”（CHECK ENGINE）指示灯等，在本系统发生故障时



会点亮或闪烁。

故障指示灯在点火开关接通后，一般都会亮起，这是电控系统的自检程序，并不代表发生了故障，自检结束未发现故障，指示灯熄灭。发动机起动后，故障指示灯应处于熄灭状态，如果仍然点亮或闪烁，表示电控系统有故障。

通过一定的读码程序，可以从故障指示灯（仪表板的指示灯或电脑上的 LED 灯）读出灯光闪烁所代表的故障码。

1）故障指示灯。

2）故障指示灯闪烁故障码。

3）某些高级轿车中，仪表板的显示屏可直接显示故障信息。

4）使用专用仪器，通过诊断接头输出故障码和故障信息。

三、第二代随车诊断系统（OBD-Ⅱ）

汽车故障自诊断系统为汽车维修提供了重要信息，但是过去由于缺乏统一标准，各汽车制造厂的故障自诊断插座的形式多达几十种，位置各不相同，读取方法也各种各样，造成了自诊断工作的极大不便。为了解决这个问题，自 1994 年以来，美、日、欧各主要汽车制造厂生产的汽车逐步开始使用第二代随车诊断系统（OBD-Ⅱ），到目前为止，绝大多数汽车都使用统一的（OBD-Ⅱ）诊断插座。

1. OBD-Ⅱ诊断系统的主要功能

OBD-Ⅱ系统是世界各个汽车制造厂商采用相同标准的诊断插座（16 端子）、相同定义的故障码以及相同的资料传输标准（SAE 或 ISO）的诊断系统，只要通过一台仪器，即可对各种汽车进行故障诊断。

OBD-Ⅱ诊断模式采用高效的输出明码编码方式以及压缩数据包方式传递信息，读取与清除故障码可在瞬间完成。OBD-Ⅱ诊断插座仍然保留了通过人工跨接诊断插座的端子从故障指示灯或 LED 灯、电压表上读取故障的功能，不过这种码多是两位数码，信息量远远少于 OBD-Ⅱ标准码，有些故障码无法用此种方式输出。

注意

OBD-Ⅱ随车诊断系统的特点是：

1）将各种车型的诊断插座统一为 16 端子，大多安装在仪表板下方左侧或右侧，也有的车型安装在变速杆旁等便于操作的地方。

2）具有数值分析和资料传输功能（DATA LINK　CONNECTOR，DLC）。数值传输有两个标准：一个是欧洲统一标准，即 ISO 标准，它利用 7、15 端子传输数据；另一个是美国汽车工程学会统一标准，即 SAE 标准，它利用 2、10 端子传输数据。

3）统一各个车型的故障码含义。

4）具有重新显示记忆故障码的功能。

5）具有行车记录器的功能。

6）具有可由仪器直接消除故障码的功能。

OBD-Ⅱ诊断插座的结构如图 4-4 所示，各个端子应用规定见表 4-1。

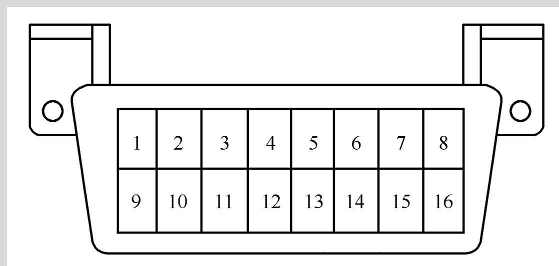


图 4-4 OBD-Ⅱ诊断插座的结构

表 4-1 OBD-Ⅱ诊断插座端子应用规定

端子	定义	端子	定义	端子	定义
1	由制造厂规定	7	ISO-9141 数据传输 K	13	由制造厂规定
2	SAE-J1850 数据传输	8	由制造厂规定	14	CAN -
3	由制造厂规定	9	由制造厂规定	15	ISO-9141 数据传输 L
4	车身接地	10	SAE-J1850 数据传输	16	蓄电池正极电源
5	信号反馈接地	11	由制造厂规定		
6	CAN +	12	由制造厂规定		

SAE 规定 OBD-Ⅱ故障码由 5 位数字或字母组成。

例如：P0122，其中第一位为英文字母，第二至第五位为数字，各位含义如下。

第一位为英文字母，分别代表测试系统。其中：B 代表车身；C 代表底盘；P 代表动力系统（发动机、变速器）；U 未定义。

第二位为数字：代表汽车制造厂商。0 则代表 SAE 定义故障码；1、2、3 代表汽车制造厂。

第三位为数字：代表 SAE 定义的故障码范围。数字“1”或“2”，表示燃油或空气测试不良；数字“3”表示点火系统不良或发动机间歇熄火；数字“4”表示废气控制系统辅助装置不良；数字“5”表示汽车或怠速控制系统元件不良；数字“6”表示电脑或输出控制元件不良；数字“7”或“8”表示变速器控制系统不良。

第四、五位为数字，代表原厂故障码。

2. 故障码的读取与清除

故障码的读取与清除可分为两种方式：一种是人工方式；另一种是外接设备方式。

（1）人工读取与清除方式


注意

人工读取与清除故障码是不使用任何外接仪器设备就可进行的方式。

1）人工读取。在这种方式下，若要控制电脑的自诊断系统输出故障码，通常需要先给电脑一个触发信号，电脑接收到此信号后，就开始显示故障码。通常有对诊断插座中的专用端子采取跨接线触发方式、外接 LED 测试灯触发方式、点火开关触发方式、加速踏板触发方式等；而显示故障码则有利用发动机故障指示灯、LED 测试灯、电脑板上 LED 指示灯等



形式，以及利用百分表读取百分比（%）值的方式，这是奔驰汽车专用方式。

利用发动机故障指示灯或LED测试灯显示故障码时，其故障码的闪烁方式有单灯闪烁、双灯闪烁和四灯显示方式，最常见、使用车型最多的还是利用发动机故障指示灯闪烁的方式，如图4-5所示。

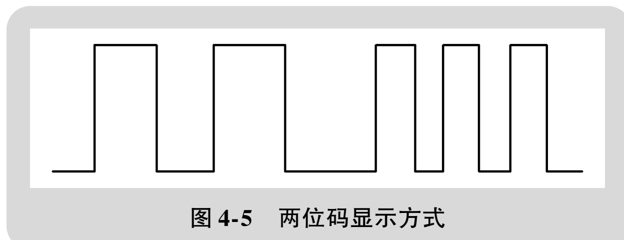


图4-5　两位码显示方式

图4-5显示的为故障23，用故障灯的闪烁时间来表示，先连续闪两下，中间间隔0.5s，表示2；再连续闪三下，表示3。如有多个故障，依次显示，两个故障之间间隔时间较长，为4-5s。

柴油机高压共轨电控系统设有故障诊断开关，读取故障码时，接通点火开关，将诊断开关按下即可通过仪表板上的故障指示灯按上述方法读出故障码。

2）故障码的清除。**存储在控制电脑中的故障码有两种清除方式：一种是人工清除；另一种是自动清除。**

人工清除是按照一定步骤用人工或仪器来清除。通常采取切断电源负极电缆30s以上或更长时间的方式，这种方式适用于大多数车型，但全车电源切断可能会清除电脑的自适应值或其他系统的记忆（如音响）；人工清除还可按照触发方式遵循本车型规定的程序步骤操作，即可清除故障码。

故障码的自动清除则是在故障已经完全消除以后，在点火开关开、闭（ON—OFF）循环一定的次数（通常是50~80次）以上且该故障未再次出现时，控制电脑将自动清除存储的故障码。人工清除可以清除所有的间歇性（软）故障码和持续性（硬故障）故障码，而自动清除只能清除在一段时间内没有出现的间歇性故障码和故障已经排除的持续性故障码。

（2）外接设备方式



注意

外接设备方式是使用读码器、扫描仪和诊断仪或类似工具（俗称解码器）进行故障码的读取与清除的方式。

1）读码器。读码器是各大汽车公司为各自生产的汽车专门设计的读取和清除故障码的专用工具。它将自诊断系统故障码的触发和显示功能集于一体，只需将连接插头插入诊断插座，就可以从读码器中读取和清除故障码。读码器有两种显示方式：一种是用发光二极管显示闪码；另一种是直接显示故障码的编号。读码器通常用读码键触发读取故障码，用清除键清除故障码。读出的故障码还需要从维修手册中查找故障码的含义。

2）解码器。解码器是在读码器的功能上增加了故障码内容定义的显示功能，可用菜单方式进入读取故障码和清除故障码功能，解码器可以显示故障码的定义。所以解码器能够用不同文字直接显示故障码的含义，不必再从手册中去查找。

3）扫描仪和诊断仪。扫描仪和诊断仪除了故障码的读取和清除以外还有其他更重要的功能，在读取和清除故障码的功能上与解码器完全相同，是电控系统故障诊断最常用的一种设备和诊断手段。

四、备用系统

注意

备用系统也称为后备功能，它是当 ECU 内微机控制程序出现故障时，ECU 把燃油喷射和喷油时刻（汽油机的点火正时）控制在预定水平上，作为一种备用功能使车辆继续行驶。该系统只能维持基本功能，而不能保持正常的运行性能。

在柴油发动机高压共轨电控系统中，当轨压传感器或加速踏板传感器等主要传感器信号电路，出现断路或短路故障时，微机无法检测轨管压力和发动机负荷情况，也就无法对轨管压力进行有效控制，燃油喷油量得不到精确控制，微机进入异常工作状态，发动机将会停机，车辆则不能行驶。若此时汽车处于行驶途中，又远离维修服务站，将会使驾驶人和乘客陷入十分困难的境地。此时后备系统将投入工作，维持发动机转速在 1000～1500r/min，限制发动机转矩和巡航功能，汽车进入跛行回家模式继续行驶，以便将汽车能开到最近的维修站或适宜的地方。

后备系统为一专用后备电路，当监视器监测出微机出现异常情况而满足启用后备系统的工作条件时，首先“检查”灯亮，告诉驾驶人应及时将汽车送到维修站检修；与此同时，ECU 自动转换成简易控制的后备系统。**后备系统只是简易控制，只能维持基本功能；可以使车辆继续行驶，而不是保持正常运行的最佳性能。**

◎◎◎ 第三节 故障码与数据流分析 ◎◎◎

一、故障码分析和确定

在发动机电控系统的故障诊断中，利用故障诊断仪读取故障码的方法已经成为必不可少的工作之一。大多数情况下，总想试图把读取到的故障码，作为主要故障原因或故障点来判断故障，或通过更换故障码所指出的元器件来排除故障，但事实上并非如此简单。由于电控系统自诊断能力的局限性，各个元器件故障设定的条件不同以及各个元器件之间的相互关联作用等诸多因素，电控模块内记录、储存的故障码的内容有些能相对准确地反映其真实情况。有些则不能反映真实情况。故障码对于故障诊断只能作为一些参考信息，然后经过仔细分析，这样有助于缩小故障范围，进而确定检修重点，具体的器件性能，工作状况的鉴定、确认还需借助于常规仪器或仪表。

注意

故障码是汽车电控系统电脑的自诊断系统对检测出的故障点所记录下的相应编码。

故障码分析是诊断汽车电子控制系统故障的第一步，是汽车电子控制系统故障诊断中最基本、最简单，也是最常用的方法之一。

故障码分析的过程是对汽车电控系统电脑自诊断系统纪录的故障码进行读取、清除和鉴别分类的分析过程。

1. 故障的确认方法

电控系统电脑自诊断系统对任何故障码的设定都有不同的设定条件，当自诊断系统检测



到某一个或几个信号超出其设定条件（或范围），即故障时，将设定故障码。一般通过以下几种方法进行确认。

（1）数值判定　当控制电脑接收到的输入信号超出规定的数值范围时，自诊断系统就确认该输入信号出现故障。**例如：某些发动机电控系统中冷却液温度传感器，采用负温度系数的热敏电阻，正常使用温度范围为 -40～135℃内，输出电压为 0.3～4.7V，当控制电脑检测出信号电压小于 0.15V 或大于 4.85V 时，就判定冷却液温度传感器信号系统发生短路或断路故障。**

（2）时间判定　当控制电脑检测时发现某一输入信号在一定的时间内没有发生变化或变化没有达到预先规定的标准时，自诊断系统就会确定该信号出现故障。**氧传感器就是一个典型的例子：在发动机达到正常温度且控制系统进入闭环控制后，而电脑检测不到氧传感器的输出信号，超过了设定的时间，或者氧传感器信号电压在 0.45V 的基准上，没有上下变化的情况已超过了设定的时间，自诊断系统就会判定氧传感器信号系统出现故障。**

（3）功能判定　当控制电脑给执行器发出驱动指令后，检测相应传感器或反馈信号的输出参数变化，如果输出信号没有按照程序规定的趋势变化，就会判定执行器或相关电路出现了故障。**例如：驾驶人使用了排气制动功能或是控制电脑得到了排气制动的请求信号后，同时会检测进气压力传感器和发动机转速输出信号是否相应变化，用以确定排气制动阀及相关电路是否动作。若没有变化，则判定排气制动阀及相关电路故障。**

电装电控系统采用了排气制动继电器，而博世电控系统则是由发动机电脑直接控制排气制动阀。

（4）逻辑判定　控制电脑对两个或两个以上具有相互联系的传感器进行数据比较，当发现两个传感器信号之间的逻辑关系违反了设定的条件，就会判定其中一个或其相互之间有故障。**例如：柴油机电控系统中加速踏板传感器就是一个典型的例子。在电控系统中设有两个加速踏板传感器且同步工作，两个传感器的工作电源相同，但信号电压却是 1/2 的关系，即加速踏板 2 无论在什么情况下信号电压始终是加速踏板 1 的 1/2，若控制电脑检测到两者信号电压的比例不成立时，则判定该传感器出现了故障，在点亮故障灯的同时，会记录故障码。同理，曲轴位置传感器和凸轮轴位置传感器也有同样的逻辑关系。**

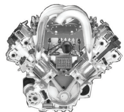
2. 故障的分类

电控系统出现故障的形式一般分为软故障和硬故障两大类型：一种是间歇性的故障；另一种是持续性的故障。

（1）间歇性的故障　间歇性的故障即软故障，它的特点是时有时无，故障难以判断。因为要重现间歇性故障产生的状态，有很大困难，有时需要很长时间用于捕捉间歇性故障的重现，或者需要人为地创造可重现故障的条件。例如，给可疑器件加温、晃动怀疑接触不良的电气连接等，同时更需要借助其他设备，捕捉故障出现时瞬间的各种数据、参数的变化情况。**间歇性故障的发生大多没有规律可循，重现的时间长短也不确定，所以维修难度较大。**

（2）持续性的故障　持续性的故障即硬故障，它的特点是一旦发生就始终存在，故障判断比较容易。

（3）故障和故障现象及故障码的关系　有故障码存在时，大多数情况下是确有故障，也会有不同程度的故障症状。如进气压力传感器故障码，说明进气压力信号有误，会产生明显的故障现象；如发动机加速不良、动力性下降、排放超标等。



但有些故障的故障症状并不明显，如出现进气温度传感器的故障码，则表示进气温度传感器信号可能有断路或短路故障发生，但这个故障所带来的影响，仅凭驾驶感觉不一定能够发现。

有故障码也不一定就会有故障，这里边有好多因素，主要有外界或车上各种干扰源的干扰、检测过程的误操作、相关故障的影响和虚假的故障码等。

当有故障症状出现时，一定存在故障，但不一定产生故障码，因为故障码是由控制电脑的自诊断系统定义的，电脑监控以外导致的故障，就不可能设定故障码。例如，机械性故障自诊断系统就无法识别，但发动机会有工作不良的故障症状。

 注意

有故障码不一定有故障，没有故障码不一定没有故障。不能认为读出故障码，并按照故障码指示或说明就可修好车，这只是诊断的开始，而不是诊断的结果。应该清楚，我们修理的是故障，不是故障码，故障码仅仅是有助于缩小故障范围、指出较为明确的检测方向和对故障特性给出的一种提示。

3. 故障码的分析

在发动机电控系统的故障诊断中，利用故障诊断仪读取故障码的方法已经成为必不可少的工作之一。

（1）故障码分析的步骤

1）首先读取并记录所有故障码。

2）清除所有的故障码。

3）确认故障码已被清除（再次读取故障码时，应显示此时无故障码）。

4）模拟故障产生的条件进行路试以使故障重现。

5）再读取并记录此时的故障码。

6）区分间歇性（软）故障码和当前（硬）故障码。

7）区分与故障症状相关的故障码和无关的故障码。

8）区分诸多故障码或相关故障码中的主要故障码（它可能是导致其他故障码产生的原因）。

9）按照上述分析，进一步精确地检查测量故障码所代表的传感器、执行器或控制电脑及相关的电路状态，以便确定故障点发生的准确位置。

（2）典型故障码分析　**电子控制系统是由传感器、执行器、插接器、线路和电脑内部的电路所组成的。因此反映系统故障的故障码所包含的内容不单是指该传感器或执行器出现故障，而是表示该系统的信号出现不正常的现象，至于不正常的原因则可能出现在组成该系统的任何一部分——器件、插头、线路或电脑上。**在整个分析和检查的过程中，应明确故障码仅为维修人员提供了进一步检测的大方向，而并不能也不是告诉我们究竟什么地方和什么东西出现故障。为真正确定是什么地方和什么东西的问题，还需要根据相应的技术资料（包括电路图、器件位置、标准值等），利用可能的检测手段进一步测量，这就是为什么不要以为读到故障码即可修好车的原因。

1）断路故障码的分析。**断路是指构成闭合回路的电路中的任意一处或一个连接点（器件、导线、插接器）的开路状态，切断了电路的通路，导致控制电路不能构成闭合回路。**



在故障码中，传感器、执行器、线路都有断路故障码。例如，故障码 P0201，查阅故障码说明，故障描述为一缸喷油器开路。图 4-6 所示为一缸喷油器控制电路示意图。

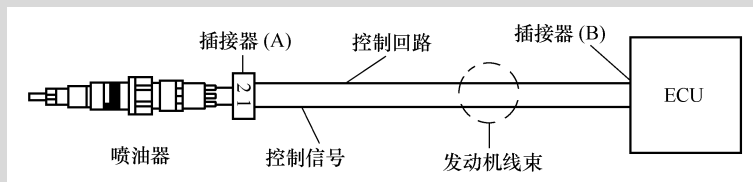


图 4-6　喷油器控制电路

根据图 4-6 可以看出，故障码 P0201 描述的一缸喷油器开路，最少有五个故障点可以导致故障码的产生，它们分别是喷油器本身电磁线圈开路、喷油器与线束插头（插接器 A）严重接触不良或开路、喷油器与电脑之间的控制线路中的任意一条（控制回路和控制信号）导线的断路以及电脑与线束的插接器（插接器 B）严重接触不良或处于开路状态。所以针对断路故障码的诊断，主要应采用万用表蜂鸣档或电阻档，对可能导致断路的任何一个连接点或插接器，包括器件本身进行认真仔细的检查，这看似一种常规性的检查，但却需要操作者熟练的基本功。

关闭点火开关，拔下喷油器线束插头，选用万用表电阻档，两表笔分别触接喷油器接线柱，所测电阻值应与标准值相符，若电阻值偏差很大或无穷大，则为开路现象

喷油器线束插头是导致开路状态的主要因素，它的工作温度较高、环境恶劣，所以对它的检查要特别仔细。关闭点火开关后，将喷油器、电脑的线束插头拔下，选用万用表电阻档，表笔的一端触接喷油器线束插头的某一插孔，万用表的另一表笔触接电脑侧对应的线束插孔，测量结果导线电阻值不应大于 0.5Ω，否则应检查线束两侧插座内插簧是否氧化或有线路断路部分；若两条线路检查均未发现断路现象，可将喷油器线束插头插好，用万用表在电脑线束侧插座的相应插孔内，检查包括喷油器在内的电路阻值是否符合标准值（喷油器电磁线圈阻值），若正常，说明喷油器至电脑侧线束正常，否则，问题可能是喷油器与线束插接器接触不良。

上述检查未发现开路原因时，也不能排除电脑侧线束插头接触不良的现象，但这种情况很少，若确实需要对其检查时，可在发动机工作的时候，用背插式方法，将专用测试灯连接于电脑线束侧相对应的喷油器插接器上，观察有无脉冲信号，若有，说明电脑侧线束插头接触不良，否则，该例开路故障的原因可能在电脑内部，可视情况检修或更换电脑。

2）短路故障码的分析。**短路是指控制回路中电流未按照规定的路径通过，而在中途与相邻导线搭接的地方通过的状态。**短路时的电流比正常通路时的电流大，极容易烧坏电源、中间环节及用电设备。短路现象产生的故障码很多，例如：故障码 P0253 ，查阅故障码说明，故障码描述为燃油计量单元短路到地，如图 4-7 所示。故障码 P0254，故障码描述为燃油计量单元短路到电源，如图 4-8 所示。

图 4-7 所示为故障码 P0253 燃油计量单元短路到地的故障点示意图。这仅仅是一个假设，其实在燃油计量单元控制信号线的任何一点与线束中的其他电源负极导线或车身搭铁出现非正常连接，都可以产生该导线与电源负极短路的故障码。在检查此类故障时一般采用万

用表电阻档，方法是关闭点火开关，将燃油计量单元线束插头和电脑线束插头拔下，将万用表的一端触接燃油计量单元线束插座的控制信号线插孔，万用表的另一端搭铁，正常时电阻值应大于 10kΩ 或为无穷大，否则，应查明短路原因。

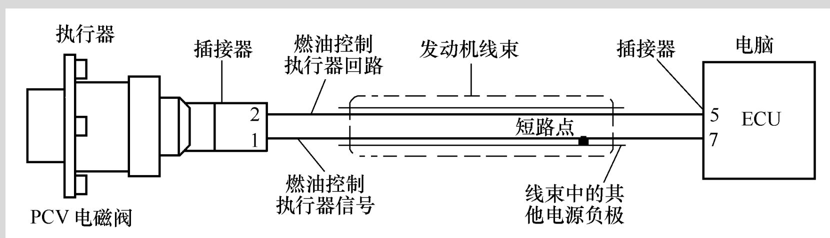


图 4-7　燃油计量单元短路到地

对于燃油计量单元控制回路导线是否与电源负极短路的检查方法也是如此，无论哪一条导线对电源负极短路都将造成电脑的损坏，短路故障对电脑或其他电源、线束的危害性很大，所以对短路故障的检查、排除要格外认真对待，严格按照规范要求进行操作。

图 4-8 所示为故障码 P0254 燃油计量单元短路到电源的故障点示意图。对于燃油计量单元控制信号线的任何一点与线束中的其他电源正极导线出现非正常性的连接，都可以产生该导线与电源正极短路的故障码。检查此类故障最方便、最实用的方法同样采用万用表电阻档，方法是关闭点火开关，将燃油计量单元线束插头和电脑线束插头拔下，将万用表的一端触接燃油计量单元线束插座的控制信号线插孔，万用表的另一端连接其他电源正极，正常时电阻值应大于 10kΩ 或为无穷大，否则，应查明短路原因。

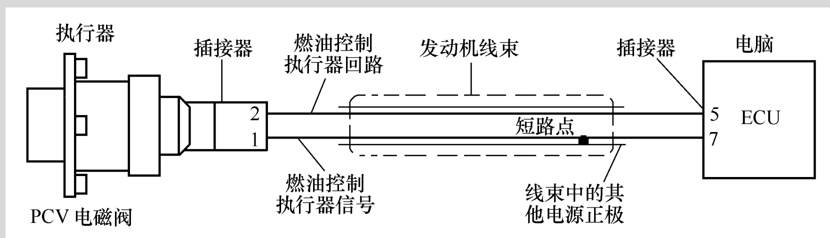


图 4-8　燃油计量单元短路到电源

3）信号电压高于最高限值故障码的分析。**发动机电控系统有源传感器的工作电源或参考电源一般多为电脑内部提供的 5V 稳压电源，所以传感器的信号电压一般设定在 0.3～4.7V（车型不同略有区别）之间，当电脑自诊断系统检测到信号电压高于设定最高限值且超过或达到设定故障码的条件时，就会记录故障并设定信号电压高于最高限值的故障码。这类故障相对于短路、断路故障码的分析和检查难度要大，因为这种故障的故障点不很明显，需要有较强的电路分析能力和熟练的操作技巧。**

在故障码中这类故障要比短路、断路故障码多，其原因是导致产生故障码的因素较多。下面以故障码 P0118 冷却液温度传感器信号电压高于最高限值为例进行分析。图 4-9 所示为冷却液温度传感器电路。



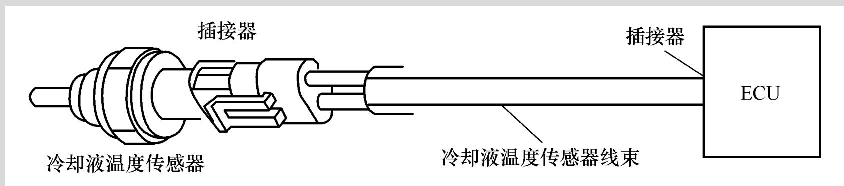


图 4-9 冷却液温度传感器电路

冷却液温度传感器采用负温度系数的热敏电阻，温度越低电阻值越大；反之，则小，传感器的参考电源为 5V。由温度、电阻值和信号电压的关系可知，温度越低，电阻值越大，信号电压也就越高，能够导致产生信号电压高于最高限值故障码的主要原因如下。

传感器本身电阻值发生变化，即相同温度条件下的电阻值高于标准电阻值。

传感器线束插头的接触部分和电脑线束插头的接触部分，而前者的故障率远远高于后者，因为传感器安装在发动机上，温度较高且工作环境差，容易导致传感器与线束插头内的插簧和插片的氧化、脏污，致使其产生接触电阻，增大了冷却液温度传感器的电阻值，使输入到电脑的信号电压高于正常温度时的电压值。

个别情况也有可能出现信号线与电源线短路，但这种情况可能产生与电源短路的故障码。

注意

在分析和检查此类故障码时，除了核实传感器本身参数外，更多的要对线路，特别是接触部分重点检查，确保线路连接可靠，导通良好。

4）信号电压低于最低限值故障码的分析。信号电压低于最低限值的故障码在故障码中所占的比例也是很大的，因为它产生的原因也很多，有传感器本身的问题，也有线路接触问题。下面以 P0192 轨压传感器信号电压超下限为例进行分析。图 4-10 所示为轨压传感器电路。

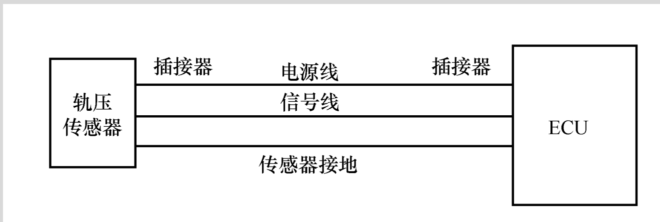


图 4-10 轨压传感器电路

注意

这类型的传感器本身出现性能问题而产生故障码时，对传感器没有更好的测量鉴定手段，只能通过替换的方法进行检查；若是传感器电源线任意一处插接器接触不良，导致传感器工作电源不够同样可以产生这种故障码，而由于线路接触不良导致的故障是可以检查并排除的，方法仍然是使用万用表电阻档，只要仔细认真检查完全可以排除；在个别情况下也有可能信号线对电源负极短路，同样也可能产生这种故障码，但有时会报告传感器信号对地短路的故障码。

4. 常见车型故障码说明

（1）博世公司故障码说明　博世公司故障码说明见表4-2。

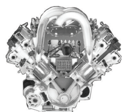
表4-2　博世公司故障码说明 CA6DL2/6DF3

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时ECU采取的保护措施
加速踏板传感器				
P0122	加速踏板信号1低于最低限值	①整车线束中加速踏板信号1对地短路 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号1是否对地短路 ②更换加速踏板	①限转矩 ②取消巡航 ③发动机转速到1000r/min
P0123	加速踏板信号1高于最高限值	①整车线束中加速踏板信号1对电源短路 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号1是否对电源短路 ②更换加速踏板	①限转矩 ②取消巡航 ③发动机转速到1000r/min
P0222	加速踏板信号2低于最低限值	①整车线束中加速踏板信号2对地短路 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号2是否对地短路 ②更换加速踏板	①限转矩 ②取消巡航 ③发动机转速到1000r/min
P0223	加速踏板信号2高于最高限值	①整车线束中加速踏板信号2对电源短路 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号2是否对电源短路 ②更换加速踏板	①限转矩 ②取消巡航 ③发动机转速到1000r/min
P2135	电子油门传感器1、2电压同步偏差超标	①整车线束中加速踏板信号接线故障 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号线 ②更换加速踏板	①限转矩 ②取消巡航 ③发动机转速到1000r/min
P2299	加速踏板和制动踏板被同时踩下	①加速踏板和制动踏板同时踩下 ②加速踏板和制动开关损坏	①松开加速踏板或制动踏板 ②更换加速踏板或制动踏板	取消巡航
轨压传感器				
P0193	轨压传感器信号电压超上限	①轨压传感器损坏 ②轨压传感器线束损坏	①更换轨压传感器 ②检查轨压传感器线束	①限制转矩 ②取消巡航
P0192	轨压传感器信号电压超下限	①轨压传感器损坏 ②轨压传感器线束损坏	①更换轨压传感器 ②检查轨压传感器线束	①限制转矩 ②取消巡航
P0087	轨压小于最小值	①油路问题 ②油泵损坏 ③轨压传感器损坏 ④燃油计量单元损坏	①检查油路 ②更换油泵 ③更换油轨	限转矩
P0191	起动或afterrun时轨压偏差超过上限	①油路问题 ②油泵损坏 ③轨压传感器损坏 ④燃油计量单元损坏	①检查油路 ②更换油泵 ③更换油轨	①限制转矩 ②取消巡航
P0191	起动或afterrun时轨压偏差超过下限	①油路问题 ②油泵损坏 ③轨压传感器损坏 ④燃油计量单元损坏	①检查油路 ②更换油泵 ③更换油轨	①限制转矩 ②取消巡航



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
轨压传感器				
P100E	油轨限压阀打开	①油路问题 ②限压阀损坏	①更换油轨 ②检查油路	限制转矩
P100F	压力冲击油轨限压阀请求	①油路问题 ②限压阀损坏	①更换油轨 ②检查油路	限制转矩
P1010	油轨限压阀在压力冲击后未打开	①油路问题 ②限压阀损坏	①更换油轨 ②检查油路	限制转矩
P1011	轨压正偏差过大	①油路问题 ②油泵损坏 ③轨压传感器损坏 ④燃油计量单元	①检查油路 ②更换油泵 ③更换油轨	限制转矩
P1012	超过设定的燃油流量后轨压正偏差过大	①油路问题 ②油泵损坏 ③轨压传感器损坏 ④燃油计量单元	①检查油路 ②更换油泵 ③更换油轨	限制转矩
P1013	超过设定的燃油流量和温度后轨压负偏差过大	①油路问题 ②油泵损坏 ③轨压传感器损坏 ④燃油计量单元	①检查油路 ②更换油泵 ③更换油轨	限制转矩
进气压力传感器				
P0237	进气压力传感器信号低于最低限值	①整车线束中进气压力信号对地短路 ②进气压力传感器故障	①检查整车线束中进气压力信号线 ②更换进气压力传感器	①限制转矩 ②取消巡航 ③最高转速只能到 1800r/min
P0238	进气压力传感器信号高于最高限值	①整车线束中进气压力信号对电源短路 ②进气压力传感器故障	①检查整车线束中进气压力信号线 ②更换进气压力传感器	①限制转矩 ②取消巡航 ③最高转速只能到 1800r/min
大气压力传感器				
P2227	大气压力信号错误	ECU 内大气压力传感器故障	更换 ECU	①限制转矩 ②最高转速只能到 1800r/min
P2228	大气压力低于最低限值	ECU 内大气压力传感器故障	更换 ECU	①限制转矩 ②最高转速只能到 1800r/min
P2229	大气压力高于最高限值	ECU 内大气压力传感器故障	更换 ECU	①限制转矩 ②最高转速只能到 1800r/min



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
冷却液温度传感器				
P0116	冷却液温度传感器信号错误	①整车线束中冷却液温度传感器信号对电源短路 ②冷却液温度传感器故障	①检查整车线束中冷却液温度传感器信号线 ②更换冷却液温度传感器	限制转矩
P0117	冷却液温度传感器信号低于最高限值	①整车线束中冷却液温度传感器信号对地短路 ②冷却液温度传感器故障	①检查整车线束中冷却液温度传感器信号线 ②更换冷却液温度传感器	限制转矩
P0118	冷却液温度传感器信号高于最高限值	①整车线束中冷却液温度信号对电源短路 ②冷却液温度传感器故障	①检查整车线束中冷却液温度传感器信号线 ②更换冷却液温度传感器	限制转矩
P0217	冷却液温度超过上限	①冷却液温度传感器损坏 ②冷却液太少	①更换冷却液温度传感器 ②加冷却液	限制转矩
P2266	冷却液温度传感器电压超下限	①冷却液温度传感器故障 ②冷却液温度传感器线束损坏	①更换冷却液温度传感器 ②检查冷却液温度传感器线束	无
P2267	冷却液温度传感器电压超上限	①冷却液温度传感器故障 ②冷却液温度传感器线束损坏	①更换冷却液温度传感器 ②检查冷却液温度传感器线束	无
进气温度传感器				
P0097	进气温度传感器信号低于最低限值	①整车线束中进气温度传感器信号对地短路 ②进气温度传感器故障	①检查整车线束中进气温度传感器信号线 ②更换进气温度传感器	无
P0098	进气温度传感器信号高于最高限值	①整车线束中进气温度传感器对电源短路 ②进气温度传感器故障	①检查整车线束中进气温度传感器信号线 ②更换进气温度传感器	无
转速、辅助转速传感器				
P0008	运行时只有凸轮轴信号	①转速传感器故障 ②转速传感器线束故障	①更换转速传感器 ②检查转速传感器线束	①限制转矩 ②取消巡航



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
P0016	凸轮轴和曲轴传感器信号偏差太大	①凸轮轴或转速传感器故障 ②凸轮轴或转速传感器线束故障 ③信号齿盘故障	①更换凸轮轴或转速传感器 ②检查凸轮轴或转速传感器线束 ③更换信号齿盘	①限制转矩 ②取消巡航
P0336	曲轴信号错误	①转速传感器故障 ②转速传感器线束故障 ③信号齿盘故障	①更换转速传感器 ②检查转速传感器线束 ③更换信号齿盘	①限制转矩 ②取消巡航
P0340	凸轮轴信号缺失	①凸轮轴传感器故障 ②凸轮轴传感器线束故障 ③信号齿盘故障	①更换凸轮轴传感器 ②检查凸轮轴传感器线束 ③更换信号齿盘	①限制转矩 ②取消巡航
P0341	凸轮轴信号错误	①凸轮轴传感器故障 ②凸轮轴传感器线束故障 ③信号齿盘故障	①更换凸轮轴传感器 ②检查凸轮轴传感器线束 ③更换信号齿盘	①限制转矩 ②取消巡航
		燃油计量单元		
P0251	燃油计量单元开路	①燃油计量单元损坏 ②线束断路	①更换油泵 ②检查燃油计量单元线束	无
P0252	燃油计量单元电路温度过高	①燃油计量单元线束电阻太小 ②燃油计量单元线束短路	检查燃油计量单元线束	无
P0253	燃油计量单元短路到地	燃油计量单元线束短路到地	检查燃油计量单元线束	无
P0254	燃油计量单元短路到电源	燃油计量单元线束短路到电源	检查燃油计量单元线束	无
P1014	倒拖时燃油流量错误	①油路问题 ②油泵损坏 ③燃油计量单元损坏	①检查油路 ②更换油泵	限制转矩
P1018	燃油流量实际值小于计算值	①油路问题 ②油泵损坏 ③燃油计量单元损坏	①检查油路 ②更换油泵	限制转矩
		喷油器		
P0201	一缸喷油器开路	一缸喷油器开路	检查一缸喷油器线束	无
P0202	二缸喷油器开路	二缸喷油器开路	检查二缸喷油器线束	无
P0203	三缸喷油器开路	三缸喷油器开路	检查三缸喷油器线束	无

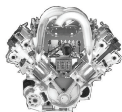
（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
P0204	四缸喷油器开路	四缸喷油器开路	检查四缸喷油器线束	无
P0205	五缸喷油器开路	五缸喷油器开路	检查五缸喷油器线束	无
P0206	六缸喷油器开路	六缸喷油器开路	检查六缸喷油器线束	无
P0261	一缸喷油器低端与高端短路	一缸喷油器低端与高端短路	检查一缸喷油器线束	无
P0262	一缸喷油器低端短路到电源	一缸喷油器低端短路到电源	检查一缸喷油器线束	无
P0263	一缸喷油器电阻超标	一缸喷油器电阻超标	一缸喷油器电阻超标	无
P0264	二缸喷油器低端与高端短路	二缸喷油器低端与高端短路	检查二缸喷油器线束	无
P0265	二缸喷油器低端短路到电源	二缸喷油器低端短路到电源	检查二缸喷油器线束	无
P0266	二缸喷油器电阻超标	二缸喷油器电阻超标	二缸喷油器电阻超标	无
P0267	三缸喷油器低端与高端短路	三缸喷油器低端与高端短路	检查三缸喷油器线束	无
P0268	三缸喷油器低端短路到电源	三缸喷油器低端短路到电源	检查三缸喷油器线束	无
P0269	三缸喷油器电阻超标	三缸喷油器电阻超标	三缸喷油器电阻超标	无
P0270	四缸喷油器低端与高端短路	四缸喷油器低端与高端短路	检查四缸喷油器线束	无
P0271	四缸喷油器低端短路到电源	四缸喷油器低端短路到电源	检查四缸喷油器线束	无
P0272	四缸喷油器电阻超标	四缸喷油器电阻超标	四缸喷油器电阻超标	无
P0273	五缸喷油器低端与高端短路	五缸喷油器低端与高端短路	检查五缸喷油器线束	无
P0274	五缸喷油器低端短路到电源	五缸喷油器低端短路到电源	检查五缸喷油器线束	无
P0275	五缸喷油器电阻超标	五缸喷油器电阻超标	五缸喷油器电阻超标	无
P0276	六缸喷油器低端与高端短路	六缸喷油器低端与高端短路	检查六缸喷油器线束	无



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
P0277	六缸喷油器低端短路到电源	六缸喷油器低端短路到电源	检查六缸喷油器线束	无
P0278	六缸喷油器电阻超标	六缸喷油器电阻超标	六缸喷油器电阻超标	无
P120B	喷油器高端短路到电源或地	①喷油器高端短路到电源或地 ②喷油器故障	①检查喷油器线束 ②检查喷油器	ECU 内喷油器电源 2 关闭
P120C	喷油器低端短路到地	①喷油器低端短路到地 ②喷油器故障	①检查喷油器线束 ②检查喷油器	ECU 内喷油器电源 2 关闭
P120E	喷油器线束电阻超标	①喷油器线束电阻超标 ②喷油器故障	①检查喷油器线束 ②检查喷油器	ECU 内喷油器电源 2 关闭
P1203	喷油器高端短路到电源或地	①喷油器高端短路到电源或地 ②喷油器故障	①检查喷油器线束 ②检查喷油器	ECU 内喷油器电源 1 关闭
P1204	喷油器低端短路到地	①喷油器低端短路到地 ②喷油器故障	①检查喷油器线束 ②检查喷油器	ECU 内喷油器电源 1 关闭
P1206	喷油器线束电阻超标	①喷油器线束电阻超标 ②喷油器故障	①检查喷油器线束 ②检查喷油器	ECU 内喷油器电源 1 关闭
P1225	非正常工作喷油器数量超标	喷油器喷孔堵塞	更换喷油器	发动机关闭
继电器控制				
P0540	预热总是工作	①整车线束故障 ②预热继电器连接错误或损坏	①整车线束故障 ②预热继电器连接错误或损坏	无
P0541	预热继电器输出信号短路到地	①整车线束故障 ②预热继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查预热继电器	无
P0542	预热继电器输出信号开路或短路到电源	①整车线束故障 ②预热继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查预热继电器	无
P0543	预热继电器开路	①整车线束故障 ②预热继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查预热继电器	无



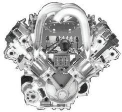
（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
P1020	预热继电器故障	预热继电器损坏	更换预热继电器	无
P1021	预热继电器故障	预热继电器损坏	更换预热继电器	无
P1022	预热继电器故障	预热继电器损坏	更换预热继电器	无
P1023	预热继电器故障	预热继电器损坏	更换预热继电器	无
P0687	主继电器 2 短路到电源	ECU 故障	更换 ECU	无
P160E	主继电器 1 短路到电源	ECU 故障	更换 ECU	无
P0617	起动继电器高端短路到电源	①起动继电器高端短路到电源 ②起动继电器损坏	①检查起动继电器线束 ②更换起动继电器	限制转矩
P163A	起动继电器开路或电路温度过高	①起动继电器开路 ②起动继电器线束电阻太小	①检查起动继电器线束 ②更换起动继电器	限制转矩
P1638	起动继电器低端短路到电源	①起动继电器低端短路到电源 ②起动继电器损坏	①检查起动继电器线束 ②更换起动继电器	限制转矩
P1639	起动继电器低端短路到地	①起动继电器低端短路到地 ②起动继电器损坏	①检查起动继电器线束 ②更换起动继电器	限制转矩
排气制动				
P0476	排气制动阀电路温度过高	①整车线束故障 ②排气制动继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查排气制动继电器	排气制动功能无效
P0477	排气制动输出信号开路或短路到地	①整车线束故障 ②排气制动继电器未接或损坏	①检查整车线束中信号线 ②增加或更换排气制动继电器	无
P0478	排气制动输出信号短路到电源	①整车线束故障 ②排气制动继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查排气制动继电器	无
开关类				
P0504	制动信号错误	①主制动或辅助制动开关损坏 ②主制动或辅助制动开关只接有一只开关 ③常开常闭弄错或接线有误	①主制动常开、辅助制动常闭，按接线图正确连接线束 ②更换开关	取消巡航



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
P0704	离合器开关故障	①整车线束故障 ②离合器开关损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查离合器开关	无法巡航
P2530	起动开关总是按下	①起动开关损坏 ②起动开关线束损坏	①更换起动开关 ②检查起动开关线束	无
P2530	发动机副起动开关故障	①发动机副起动开关故障 ②发动机副起动开关线束损坏	①更换发动机副起动开关 ②检查发动机副起动开关线束	无
ECU				
P060A	单个程序起动（SPI）故障	ECU 故障	更换 ECU	无
P060B	监测到的电压高于监测范围	ECU 内部模数监测模块故障	更换 ECU	限制转矩
P060B	监测到的电压低于监测范围	ECU 内部模数监测模块故障	更换 ECU	限制转矩
P060B	测试脉冲错误	ECU 内部模数监测模块故障	更换 ECU	限制转矩
P060B	模数转换列错误	ECU 内部模数监测模块故障	更换 ECU	限制转矩
P062B	芯片故障	ECU 故障	更换 ECU	无
P0628	电源预供给单元短路到地	ECU 故障	更换 ECU	无
P0698	ECU 内传感器电源电压 3 低于下限	ECU 故障	更换 ECU	无
P0699	ECU 内传感器电源电压高于上限	ECU 故障	更换 ECU	无
P0652	ECU 内传感器电源电压 2 低于下限	ECU 故障	更换 ECU	无
P0653	ECU 内传感器电源电压 2 高于上限	ECU 故障	更换 ECU	无
P0642	ECU 内传感器电源电压 1 低于下限	ECU 故障	更换 ECU	无
P0643	ECU 内传感器电源电压 1 高于上限	ECU 故障	更换 ECU	无



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
P1613	倒拖时喷油	ECU 故障	更换 ECU	无
P1614	倒拖故障	ECU 故障	更换 ECU	无
P163E	发动机制动信号选择错误	ECU 故障	更换 ECU	无
P0856	牵引力调配故障	ECU 故障	更换 ECU	无
P2157	从 CAN 过来的车速信号无效	①ECU 故障 ②CAN 线束损坏	①更换 ECU ②检查 CAN 线束	①取消空调 ②取消巡航 ③最高车速限制到 50km/h
其他类				
P161A	诊断灯短路到地	诊断灯线束短路到地	检查诊断灯线束	无
P161B	诊断灯开路	①没有连接诊断灯 ②诊断灯损坏 ③线束断路	①更换诊断灯 ②检查诊断灯线束	无
P161C	诊断灯电路温度过高	①诊断灯线束电阻太小 ②诊断灯线束短路	检查诊断灯线束	无
P1619	诊断灯短路到电源	诊断灯线束短路到电源	检查诊断灯线束	无
P162F	警告灯短路到电源	警告灯线束短路到电源	检查警告灯线束	无
P1623	普通灯 1 短路到电源	①普通灯 1 故障 ②普通灯 1 线束短路到电源	①更换普通灯 1 ②检查普通灯 1 线束	无
P1624	普通灯 1 短路到地	①普通灯 1 故障 ②普通灯 1 线束短路到地	①更换普通灯 1 ②检查普通灯 1 线束	无
P1625	普通灯 1 开路	①普通灯 1 故障 ②普通灯 1 线束开路	①更换普通灯 1 ②检查普通灯 1 线束	无
P1626	普通灯 1 电路温度太高	①普通灯 1 故障 ②普通灯 1 线束短路	①更换普通灯 1 ②检查普通灯 1 线束	无
P1627	普通灯 2 短路到电源	①普通灯 2 故障 ②普通灯 2 线束短路到电源	①更换普通灯 2 ②检查普通灯 2 线束	无
P1628	普通灯 2 短路到地	①普通灯 2 故障 ②普通灯 2 线束短路到地	①更换普通灯 2 ②检查普通灯 2 线束	无
P1629	普通灯 2 开路	①普通灯 2 故障 ②普通灯 2 线束开路	①更换普通灯 2 ②检查普通灯 2 线束	无



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
P1630	警告灯短路到地	警告灯线束短路到地	检查警告灯线束	无
P1631	警告灯开路	①没有连接诊断灯 ②警告灯损坏 ③线束断路	①更换警告灯 ②检查警告灯线束	无
P1632	警告灯电路温度过高	①警告灯线束电阻太小 ②警告灯线束短路	检查警告灯线束	无
P162A	普通灯 2 电路温度太高	①普通灯 2 故障 ②普通灯 2 线束短路	①更换普通灯 2 ②检查普通灯 2 线束	无
P162B	普通灯 3 短路到电源	①普通灯 3 故障 ②普通灯 3 线束短路到电源	①更换普通灯 3 ②检查普通灯 3 线束	无
P162C	普通灯 3 短路到地	①普通灯故障 3 ②普通灯 3 线束短路到地	①更换普通灯 3 ②检查普通灯 3 线束	无
P162D	普通灯 3 开路	①普通灯 3 故障 ②普通灯 3 线束开路	①更换普通灯 3 ②检查普通灯 3 线束	无
P162E	普通灯 3 电路温度太高	①普通灯 3 故障 ②普通灯 3 线束短路	①更换普通灯 3 ②检查普通灯 3 线束	无
P162F	警告灯短路到电源	警告灯线束短路到电源	检查警告灯线束	无
P1635	预热灯短路到电源	连接预热灯的线束对电源短路	检查预热灯线束	无
P1636	预热灯短路到地	连接预热灯的线束对地线短路	检查预热灯线束	无
P1637	预热灯开路	①没有连接预热灯 ②预热灯损坏 ③线束中断路	①更换预热灯 ②检查预热灯线束	无
P1642	预热灯电路温度过高	①预热灯电阻太小 ②预热灯线束中有短路的地方	①更换预热灯 ②检查预热灯线束	无
P0562	系统电源低于最低限值	①整车线束中电源线故障 ②蓄电池或发电机故障	①检查整车线束 ②检查蓄电池和发电机	无
P0563	系统电源高于最高限值	①整车线束中电源线故障 ②蓄电池或发电机故障	①检查整车线束 ②检查蓄电池和发电机	无
P1018	燃油滤清器故障	燃油滤清器堵塞故障	更换燃油滤清器	无

（2）电装公司故障码说明　电装公司故障码说明见表4-3。

表4-3　电装公司故障码说明（CA6DL1）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时ECU采取的保护措施
加速踏板传感器				
P0122	加速踏板信号1低于最低限值	①整车线束中加速踏板信号1对地短路 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号1是否对地短路 ②更换加速踏板	油门替代值是0%，中断巡航
P0123	加速踏板信号1高于最高限值	①整车线束中加速踏板信号1对电源短路 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号1是否对电源短路 ②更换加速踏板	油门替代值是0%，中断巡航
P0222	加速踏板信号2低于最低限值	①整车线束中加速踏板信号2对地短路 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号2是否对地短路 ②更换加速踏板	油门替代值是0%，中断巡航
P0223	加速踏板信号2高于最高限值	①整车线束中加速踏板信号2对电源短路 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号2是否对电源短路 ②更换加速踏板	油门替代值是0%，中断巡航
P2120	加速踏板信号1、2失效	①整车线束中加速踏板信号接线故障 ②加速踏板故障	①检查整车线束中加速踏板信号线 ②更换加速踏板	油门替代值是0%，中断巡航
轨压传感器				
P0193	轨压传感器信号电压高于最高限值	①整车线束中轨压信号对电源短路 ②轨压传感器故障	①检查整车线束中轨压传感器信号线 ②更换共轨	轨压限制在80MPa以下；油量限制，中断巡航
P0192	轨压传感器信号电压低于最低限值	①整车线束中轨压信号对地短路 ②轨压传感器故障	①检查整车线束中轨压传感器信号线 ②更换共轨	轨压限制，替代轨压48MPa；油量限制，中断巡航
P1089	轨压高于最高限值	①线束故障 ②轨压传感器故障	①检查相关线束 ②检查高压共轨	油量（70%），限制轨压80MPa，无法巡航
P0088	轨压低于最低限值	①线束故障 ②轨压传感器故障	①检查相关线束 ②检查高压共轨	油量（70%），限制轨压80MPa，无法巡航
进气压力传感器				
P0238	进气压力传感器信号高于最高限值	①整车线束中进气压力传感器信号对电源短路 ②进气压力传感器故障	①检查整车线束中进气压力传感器信号线 ②更换进气压力传感器	替代值是100kPa，中断巡航



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
进气压力传感器				
P0237	进气压力传感器信号低于最低限值	①整车线束中进气压力传感器信号对地短路 ②轨压传感器故障	①检查整车线束中进气压力传感器信号线 ②更换进气压力传感器	替代值是 100kPa，中断巡航
大气压力传感器				
P2229	大气压力高于最高限值	ECU 故障	更换 ECU	
P2228	大气压力低于最低限值	ECU 故障	更换 ECU	
冷却液温度传感器				
P0117	冷却液温度传感器信号低于最低限值	①整车线束中冷却液温度传感器信号对地短路 ②冷却液温度传感器故障	①检查整车线束中冷却液温度传感器信号线 ②更换冷却液温度传感器	冷却液温度替代值为 80℃，停止巡航
P0118	冷却液温度传感器信号高于最高限值	①整车线束中冷却液温度传感器信号对电源短路 ②冷却液温度传感器故障	①检查整车线束中冷却液温度传感器信号线 ②更换冷却液温度传感器	冷却液温度替代值为 80℃，停止巡航
P0217	冷却液温度太高	①整车线束故障 ②冷却液温度传感器故障 ③冷却液温度太高	①检查整车线束中的信号线 ②检查冷却液温度传感器 ③检查冷却液温度是否过高	
进气温度传感器				
P0113	进气温度传感器信号高于最高限值	①整车线束中进气温度传感器信号对电源短路 ②进气温度传感器故障	①检查整车线束中进气温度传感器信号线 ②更换进气温度传感器	进气温度替代值为 20℃
P0112	进气温度传感器信号低于最低限值	①整车线束中进气温度传感器信号对地短路 ②进气温度传感器故障	①检查整车线束中进气温度传感器信号线 ②更换进气温度传感器	进气温度替代值为 20℃
燃油温度传感器				
P0183	燃油温度传感器信号高于最高限值	①整车线束中燃油温度传感器信号对电源短路 ②燃油温度传感器故障	①检查整车线束中燃油温度传感器信号线 ②更换燃油温度传感器	燃油温度替代值为 80℃

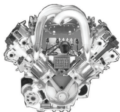
（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
燃油温度传感器				
P0183	燃油温度传感器信号低于最低限值	①整车线束中燃油温度传感器信号对地短路 ②燃油温度传感器故障	①检查整车线束中燃油温度传感器信号线 ②更换燃油温度传感器	燃油温度替代值为 80℃
转速、辅助转速传感器				
P0337	无转速信号	①整车线束中转速传感器信号线故障 ②转速传感器故障	①检查整车线束中转速传感器信号线 ②更换转速传感器	起动时间变长，禁止 FCCB 功能
P0342	无辅助转速（凸轮轴）信号	①整车线束中辅助转速传感器信号线故障 ②辅助转速传感器故障	①检查整车线束中辅助转速传感器信号线 ②更换油泵	再次点火时无法起动
P0385	无转速和辅助转速信号	①整车线束故障 ②转速和辅助转速传感器故障	①检查整车线束中信号线 ②更换传感器	无法运行
P0503	车速传感器信号频率太高	①整车线束干扰 ②车速传感器故障	①检查整车线束中信号线 ②更换传感器	无法巡航
P0502	车速传感器信号开路或短路	①整车线束故障 ②车速传感器故障	①检查整车线束中信号线 ②更换传感器	无法巡航
P0501	车速传感器信号无效	①整车线束故障 ②车速传感器故障	①检查整车线束中信号线 ②更换传感器	
燃油计量单元				
P0629	PCV1 输出短路到电源	①线束故障 ②油泵上 PCV 阀故障	①检查相关线束 ②检查油泵 PCV 阀	油量（70%），无法巡航
P2643	PCV2 输出短路到电源	①线束故障 ②油泵上 PCV 阀故障	①检查相关线束 ②检查油泵 PCV 阀	油量（70%），无法巡航
P0629	PCV2 和 PCV1 输出短路到电源	①线束故障 ②油泵上 PCV 阀故障	①检查相关线束 ②检查油泵 PCV 阀	无法起动
P0628	PCV1 输出开路或短路到地	①线束故障 ②油泵上 PCV 阀故障	①检查相关线束 ②检查油泵 PCV 阀	油量（70%），无法巡航
P2633	PCV2 输出开路或短路到地	①线束故障 ②油泵上 PCV 阀故障	①检查相关线束 ②检查油泵 PCV 阀	油量（70%），无法巡航
P0628	PCV2 和 PCV1 输出短路到地	①线束故障 ②油泵上 PCV 阀故障	①检查相关线束 ②检查油泵 PCV 阀	无法起动



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
		喷油器		
P0201	1 缸喷油器信号开路	①线束故障 ②1 缸喷油器故障	检查相关线束	油量(70%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P0202	2 缸喷油器信号开路	①线束故障 ②2 缸喷油器故障	检查相关线束	油量(70%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P0203	3 缸喷油器信号开路	①线束故障 ②3 缸喷油器故障	检查相关线束	油量(70%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P0204	4 缸喷油器信号开路	①线束故障 ②4 缸喷油器故障	检查相关线束	油量(70%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P0205	5 缸喷油器信号开路	①线束故障 ②5 缸喷油器故障	检查相关线束	油量(70%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P0206	6 缸喷油器信号开路	①线束故障 ②6 缸喷油器故障	检查相关线束	油量(70%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P2148	1、2、3 缸喷油器信号线短路到电源	线束故障	检查相关线束	油量(50%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P2147	1、2、3 缸喷油器信号线短路到地	线束故障	检查相关线束	油量(50%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P2146	1、2、3 缸喷油器信号无负载	①线束故障 ②喷油器线束与喷油器连接故障	①检查相关线束 ②检查喷油器电气连接	油量(50%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P2151	4、5、6 缸喷油器信号线短路到电源	线束故障	检查相关线束	油量(50%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P2150	4、5、6 缸喷油器信号线短路到地	线束故障	检查相关线束	油量(50%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
P2149	4、5、6 缸喷油器信号无负载	①线束故障 ②喷油器线束与喷油器连接故障	①检查相关线束 ②检查喷油器电气连接	油量(50%)，无法巡航，禁止 FCCB 功能
		油泵控制		
P2635	油泵控制过载	油泵故障	检查油泵	
P1088	油泵控制过压	油泵故障	检查油泵	
P1266	油泵控制无负载	油泵故障	检查油泵	
P0093	油泵控制缺油无负载	油泵故障	检查油泵	
		继电器控制		
P0541	预热继电器输出信号短路到地	①整车线束故障 ②预热继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查预热继电器	无



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
继电器控制				
P0542	预热继电器输出信号开路或短路到电源	①整车线束故障 ②预热继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查预热继电器	无
P0686	主继电器故障	①ECU 线束故障 ②主继电器损坏	①检查 ECU 线束中信号线 ②检查主继电器	无法巡航
P1682	排气制动输出信号短路到电源	①整车线束故障 ②排气制动继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查排气制动继电器	排气制动功能无效
P1681	排气制动输出信号开路或短路到地	①整车线束故障 ②排气制动继电器连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②增加或更换排气制动继电器	排气制动功能无效
开关类				
P0617	起动开关短路到电源	①整车线束中起动开关对电源短路 ②起动开关故障	①检查整车线束 ②检查起动开关	
P1530	发动机停车开关常闭	①整车线束故障 ②发动机副停车开关连接错误或损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查副停车开关	
P0704	离合器开关故障	①整车线束故障 ②离合器开关损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查离合器开关	无法巡航
P0856	空档开关故障	①整车线束故障 ②空档开关损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查空档开关	无法巡航
P1565	巡航开关电路故障	①整车线束故障 ②巡航开关损坏	①检查整车线束中信号线 ②检查巡航开关	无法巡航
其他类				
P0562	系统电压低于最低限值	①整车线束中电源线故障 ②蓄电池故障或发电机故障	①检查整车线束 ②检查蓄电池和发电机	
P056	系统电压高于最高限值	①整车线束中电源线故障 ②蓄电池故障或发电机故障	①检查整车线束 ②检查蓄电池和发电机	



（续）

代码	故障描述	故障可能原因	故障处理方法	故障发生时 ECU 采取的保护措施
其他类				
P0219	发动机超速	①发动机挂低档倒拖 ②燃油系统故障	①诊断仪清除故障码 ②检查燃油系统	无法巡航
ECU				
P1602	QR 数据未写入	ECU 数据故障	重新写入 QR 码	无
P0602	QR 数据故障	ECU 数据故障	重新写入 QR 码	油量(70%),无法巡航
P0607	看门狗芯片故障	ECU 故障	更换 ECU	油量(70%),限制油门开度,无法巡航
P0606	主 CPU 故障	ECU 故障	更换 ECU	无法运行
P0601	内部存储器故障	ECU 故障	更换 ECU	油量(70%),无法巡航
P0611	内部电容电路故障	ECU 故障	更换 ECU	
P0200	内部电容电路故障	ECU 故障	更换 ECU	

二、数据流分析

1. 数据流的概念

数据流是通过诊断接口，由专用诊断仪读取的控制电脑与传感器、执行器交流的数据参数，是发动机电脑接收传感器信息、控制执行器工作状态的数量表现形式，并且随时间、温度、负荷等工况而变化的动态参数。它能真实地反映传感器、执行器的工作电压和工作状态，为故障诊断提供必要的参考依据，将其作为发动机电脑的输入、输出数据，使维修人员能随时了解发动机的工作状况，针对性地运用各种测试手段对控制系统的相关数据参数进行综合分析，及时诊断发动机故障。

2. 数据参数的分类

数据流只能通过故障诊断仪（专用诊断仪和通用诊断仪）读取，根据各类数据在诊断仪上的显示方式大体可分为两大类型：数值参数和状态参数；如果按照电子控制系统的工作原理，数据流的参数又可分为输入参数和输出参数。

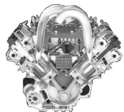


注意

数值参数是有一定单位、一定变化范围的参数，主要反映电控系统工作中各部件的工作电压、温度、压力、时间和速度等，如电控装置中的温度传感器、进气压力传感器、加速踏板传感器等的工作状态。

状态参数是指工作中只有两种工作状态的参数，如开或关、导通或断开、高或低、是或否等，如电控装置中的开关，一般电磁阀等元器件的工作状态。

输入参数是指提供给控制电脑的传感器信息或开关信号的各个参数，可以是数值参数，



也可以是状态参数。

输出参数是指控制电脑输出对执行器进行控制的指令，大多数为状态参数，但也有少部分为数值参数。

3. 数据流的获取

电控系统中数据流参数的获取一般通过电脑通信式、电路在线测量式和元器件模拟式三种方式。

（1）电脑通信式 **通信式即利用故障诊断仪（解码器、扫描仪），通过电控系统诊断插座的数据传输线与电控单元（俗称电脑）的有效沟通，将控制电脑的实时数据参数以串行的方式传输给诊断仪。**在数据流中主要包括故障码信息、运行参数、控制指令等。诊断仪在接收到这些信号数据后，按照预定的通信协议将其显示为相应的文字和数码，以使维修人员观察系统即时运行状态，用以故障诊断时的数据分析。



诊断仪一般可分为专用诊断仪和通用型诊断仪两个大类。

1）专用诊断仪。专用诊断仪是各汽车生产厂家专用的测试设备，主要是针对本厂生产的一种或多种车型的故障诊断，它具有控制电脑版本的识别、读码、解码、数据扫描、动态参数显示、系统匹配和防盗设定等功能，有些还具有传感器输入信号和执行器输出信号的参数修正、电脑控制系统参数调整以及部分执行器的功能测试，适应车型较少但专业性很强，是专业修理厂的必备设备。

2）通用型诊断仪。通用型诊断仪的测试功能大体上与专用诊断仪不相上下，某些特殊功能的性能不及专用诊断仪，但可测试的车型较多、范围较广，因而称为通用型诊断仪。

（2）电路在线测量式 **在线测量式主要是针对控制电脑外部的电气部件和连接电路的在线检测，通常是将控制电脑的输入信号、输出信号直接传输给电路分析仪的测量方式。**电路分析仪最常用的是汽车专用万用表，其次是示波器（或汽车专用示波器）。

1）汽车专用万用表。汽车专用万用表一般为数字显示式，大多功能和外形与普通数字式万用表很相似，一般包括交直流电压与电流、电阻、电容、频率、温度、占空比、闭合角及转速等。测量时需将万用表的测试笔直接触接被测导线或器件，用数字或模拟显示的方式反映电路中电参数的动态变化。汽车专用万用表是分析电路信号数值变化最常用、最实用的测试仪表，同时对大多数电气元件能够进行静态检查以确定其功能的好坏。

2）汽车示波器。示波器是通过波形显示的方式反映电路参数的动态变化过程，是分析复杂电路信号波形变化的专业仪器。通常汽车专用示波器有两个或两个以上的测试通道，根据维修需要可同时对多路电信号进行同步测量和显示，具有高速动态分析的优点。有些专用示波器还具有连续记忆和重放功能，便于捕捉间歇性故障，或通过一定的软件与 PC 机连接，将采集的数据进行存储、打印和再现。

（3）元器件模拟式测量 **元器件模拟式测量是通过信号模拟器替代传感器的方式，将模拟信号送入控制电脑，再对控制电脑的响应参数进行分析比较，用以判断传感器的性能。**目前常用的信号模拟器有两种：一种是单路信号模拟器；另一种是同步信号模拟器。

1）单路信号模拟器。单路信号模拟器也称单通道信号发生器，它只有一路信号输出，只能模拟一个传感器的动态变化信号。一般有 0 ~ 15V 的可变电压信号 0 ~ 10kHz 的可变交、



直流频率信号，0～200kΩ 的可变电阻信号。

2）同步信号模拟器。同步信号模拟器具有两路信号同时输出的功能，特别是曲轴位置和凸轮轴位置传感器两路信号同步输出，在发动机无法起动的故障诊断中，能够用于人工模拟发动机运转的情况，对电控单元进行动态响应数据分析，用以界定传感器或控制电脑的工作情况。

信号模拟器在故障诊断中的功用主要有两个：一个是用对比的方法去判断被怀疑的传感器的好坏；另一个是用可变模拟信号去动态分析电脑控制系统的响应，进而分析控制电脑及系统的工作情况。

4. 数据分析的一般步骤

（1）有故障码时　在进行故障码分析并确认有故障码存在时，可以直接找出与该故障码相关的各组数据进行分析，并根据故障码设定的条件分析故障码产生的原因，进而对数据的数值及波形进行分析，找出故障点。

（2）无故障码时　在对故障码分析后确认无故障码存在时，可从故障现象入手，根据控制系统的工作原理和结构推断相关数据参数，再用数据分析的方法对相关数据参数进行观察和全面分析。

注意

在进行数据分析时，常常需要知道所维修汽车系统的基本原理和结构、基本的控制参数及其在不同工况条件下的正确读值，并经过认真的分析，才有可能得出准确的判断。

5. 数据分析方法

（1）数值分析法　**数值分析是对数据的数值变化规律和数值变化范围的分析，如转速、车速和电脑读值与实际值的差异等。**

在控制系统运行时，控制模块将以一定的时间间隔不断地接收各个传感器的输入信号，并向各个执行器发出控制指令，对某些执行器的工作状态还根据相应传感器的反馈信号再加以修正。在诊断过程中可以通过诊断仪器读取这些信号参数的数值加以分析。

如系统电压，在发动机未起动时，其值应为当时的蓄电池电压（12V 或 24V），在起动后应等于该车充电系统的电压（13.5～14.5V 或 26.5～28V）。若出现不正常的数值，表示充电系统可能出现故障，应首先查明原因并予以排除。

注意

对于发动机不能起动（起动系统正常）的情况，应注意观察发动机的转速信号（通过诊断仪或转速表），因大多数发动机控制系统在对发动机进行控制时，都必须获取发动机的转速信号，控制电脑方可启用起动工况，否则将无法确定发动机是否在转动，也就不可能对燃油系统进行有效的控制。

（2）时间分析法　**电脑在分析某些数据参数时，不仅要考虑传感器的数值，而且要判断其响应的速率，以获得最佳效果。**

例如，氧传感器的信号，不仅要求有信号电压的变化，而且信号电压的变化频率在一定时间内要超过一定的次数（如某些车要求大于6～8 次/10s），当小于此值时，就会产生故障码，表示氧传感器响应过慢。有了故障码是比较好解决的，但当次数并未超过限定值，而又

反应迟缓时，并不会产生故障码。不仔细体会，可能不会感到一丝故障症状，此时应接上诊断仪观察氧传感器数据的变化状态以判断传感器的好坏。对采用 OBD-Ⅱ系统的催化转化器前后氧传感器的信号变化频率是不一样的。通常后氧传感器的信号变化频率至少应低于前氧传感器的一半，否则可能催化转化效率已降低了。

（3）因果分析法 **因果分析法是对相互联系的数据间响应情况和响应速度的分析。**在各个系统的控制中，许多参数是有因果关系的，如电脑得到一个输入，肯定要根据此输入给出一个输出，在认为某个过程有问题时可以将这些参数连贯起来观察，以判断故障出现在何处。

【例 1】 现代车辆的空调系统，通常按下空调（A/C）制冷开关后，它并不是直接接通空调压缩机电磁离合器，而是作为空调请求信号发送给发动机控制电脑，发动机控制电脑接收到此信号后，检查是否满足空调工作的条件（负荷、转速等工况），若满足，就会向压缩机继电器发出控制指令，接通继电器，使压缩机工作，否则，将不予执行。所以当空调不工作时，可观察在按下空调开关后，空调请求信号、空调控制信号、空调继电器等参数的状态变化来判断故障点。

【例 2】 柴油发动机电控系统中，大多设计排气制动功能，当驾驶人按下排气制动开关时，只是将排气制动请求信号传输给了控制电脑，是否执行排气制动功能，还取决于控制电脑对车辆运行工况的综合分析（最关键的是发动机转速，各种车辆有不同的标准）。当满足工作条件时，控制电脑将发出对排气制动的控制指令，由排气制动继电器提供排气制动电磁阀的工作电流，或电脑直接控制排气制动阀，实现排气制动功能。当有排气制动故障时，可通过数据流逐项对排气制动请求信号、控制电脑对排气制动继电器的输出指令以及排气制动继电器的工作状态等参数的变化来判断故障，是电控方面则按照相应的提示进行检查，否则检查机械方面。

（4）关联分析法 **控制电脑对故障的判断一般是根据几个相关传感器的信号进行比较的。当发现相互之间的关系不合理时，会给出一个或几个故障码，或指出某个信号不合理。**此时一定不要轻易按照故障码所指定的传感器草率对其判为不良或有故障，而应该根据它们之间的相互关系做进一步的检测，以得出正确的结论。

【例 3】 一辆解放重型货车搭载潍柴发动机，故障码中有轨压限压阀打开、油门 1 信号 1/2 不正确、排气制动对地短路和电源电压 3 低，但不论采用什么方法检查，或是替换确认良好的传感器，都没有发现传感器和其设定值有问题。而采取单个传感器独立检查时，发现将轨压传感器断开时，油门 1 信号不再出现故障码，而将轨压传感器恢复后故障依旧。

为什么断开轨压传感器后油门信号正常呢？根据电源电压 3 低的故障码分析，原来加速踏板 1 与轨压传感器的传感器电源是同一电源，而轨压传感器出现了短路故障，同时并接于电路中，导致了油门 1 的信号不正确，报告了故障码，所以更换了共轨管总成后故障排除。

（5）比较分析法 **比较分析法是对相同车种及系统在相同条件下的相同数据组进行的分析。**

在很多时候，没有足够详细的技术资料和详尽的标准数据，很难确认某个数据的正确与否，更无法准确地判定某个器件的好坏。如果有条件可与同类车型或相同系统的数据加以比较，或者方便时也会使用替换器件的方法进行试验以达到判断的目的，这都是一些简单的修理方法。但在操作时应首先做基本的诊断，在故障趋势基本确定后，替换被怀疑有问题的器



件，千万不要随意盲目地替换器件，这样做既破坏了故障现象的原始状况，有可能制造了新的故障，其结果可能是换了所有的器件，仍未发现问题。**需要注意的是，用于替换的器件一定要确认是良好的，而不一定是新的，因为新的未必是良好的，这是做替换试验的基本原则。**

6. 发动机主要数据分析

（1）电源分析

1）蓄电池电压分析。蓄电池电压是一个数值参数，它反映的是电脑检测到的汽车蓄电池的电压，单位为 V。柴油发动机高压共轨电控系统中没有专门检测蓄电池电压的传感器，它是根据其内部电路对输入电脑的电源电压进行检测后获得这一数值的。发动机运转时，该参数实际数值接近正常的充电电压（12V 车辆为 13.5 ~ 14.5V；24V 车辆为 26.5 ~ 28V）。在数值分析时，可将该参数的数值与蓄电池接线柱上的电压进行比较。若电压过低，说明电脑的电源线路有故障。

该参数主要用于电脑自诊断。当蓄电池电压过高或过低时，电脑的某些功能会发生变化。例如：如果电脑发现电压下降到低于极限值以下，它将发出指令让发动机以怠速运转，以增加充电量。这样会对怠速控制、燃油控制等参数产生影响。在大部分车型中，如果电脑发现蓄电池电压过高，它会切断由电脑控制的所有电磁阀的电流，以防止电脑因电流过大而损坏。

控制单元的电压过低，易引起发动机怠速不稳、发动机熄火、加速不良和发动机起动困难。

2）5V 基准电压分析。5V 基准电压是一个数值参数。**它是发动机电脑向电控系统大多数传感器提供的基准工作电源电压的数值，大部分汽车电脑的基准电压为 5.0V 左右，一般有一路输出、两路输出或多路输出。**该电压是衡量电脑工作是否正常的一个基本标志。若该电压异常，则表示电脑内部有故障。

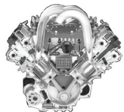
（2）转速分析

1）发动机转速分析。读取电控装置数据流时，在检测仪上所显示出来的发动机转速是由电子控制系统（ECU）根据发动机曲轴位置传感器的脉冲信号计算而得的，它反映了发动机的实际转速。发动机转速的单位一般采用 r/min，其变化范围为 0 至发动机的最高转速。该读数本身并无分析的价值，一般用于对其他参数进行分析时作为参考基准。

2）发动机起动转速分析。该参数是发动机起动时由起动机带动的发动机转速，其单位为 r/min，显示的数值范围为 0 ~ 800r/min，**该参数是发动机微机控制起动喷油量的依据。**分析发动机起动转速可以分析其起动困难的故障原因，也可分析发动机的起动性能。

（3）进气量分析

1）大气压力分析。大气压力是一个数值参数，它表示大气压力传感器送给电脑的信号电压的大小，或电脑根据这一信号经计算后得出的大气压力的数值。该参数的单位依车型而不同，有 V、kPa 及 mmHg 三种，其变化范围分别为 0 ~ 5.12V、10 ~ 125kPa 和 0 ~ 850mmHg。有些车型的电脑显示两个大气压力参数，其单位分别为 V 和 kPa 或 mmHg。这两个参数分别代表大气压力传感器电压的大小及电脑根据这一信号计算后得出的大气压力数值。大气压力数值和海拔有关：在海平面附近为 100kPa 左右，高原地区大气压力较低，在海拔 4000m 附近为 60kPa 左右。在数值分析中，如果发现该参数和环境大气压力有很大的偏差，说明大气压力传感器或电脑有故障。



2）进气歧管压力分析。进气歧管压力是一个数值参数，表示由进气歧管压力传感器送给电脑的信号电压，或表示电脑根据这一信号电压计算出的进气歧管压力数值。该参数的单位依车型而不同，有 V、kPa 及 mmHg 三种，其变化范围分别为 0～5.12V、10～125kPa 和 0～850mmHg。**进气歧管压力传感器所测量的压力是进气歧管内的绝对压力。在发动机运转时该压力的大小取决于油门的开度和发动机的转速。**在相同转速下，油门愈小，进气歧管的压力就愈低（即真空度愈大）；发动机转速愈高，该压力就愈低。涡轮增压发动机的进气歧管压力在增压器起作用时，则大于 102kPa（大气压力）。在发动机熄火状态下，进气歧管压力应等于大气压力，该参数的数值应为 100～102kPa。如果在数值分析时发现该数值和发动机进气歧管内的绝对压力不符，则说明传感器不正常或微机有故障。

3）空气流量的分析。空气流量是一个数值参数，它表示发动机微机接收到的空气流量传感器的进气量信号。该参数的数值变化范围和单位取决于车型和空气流量传感器的类型。采用热线式空气流量传感器及热膜式空气流量传感器的汽车，该参数的数值单位均为 V，其变化范围为 0～5V。**在大部分车型中，该参数的大小和进气量成反比，即进气量增加时，空气流量传感器的输出电压下降，该参数的数值也随之下降。**5V 表示无进气量，0V 表示最大进气量。也有部分车型该参数的大小和进气量成正比，即数值大表示进气量大，数值小表示进气量小。

采用涡旋式空气流量传感器的汽车，该参数的数值单位为 Hz 或 ms，其变化范围分别为 0～1600Hz 或 0～625ms。在怠速时，不同排量的发动机该参数的数值为 25～50Hz。进气量愈大，该参数的数值也愈大。在 2000r/min 时为 70～100Hz。如果在不同工况时，该参数的数值没有变化或与标准有很大差异，说明空气流量传感器有故障。**进气流量不准常会引起加速不良、发动机回火、排气管放炮等故障现象。**

（4）温度分析

1）冷却液温度分析。发动机冷却液温度是一个数值参数，其单位可以通过检测仪选择为℃或℉。在单位为℃时其变化范围为 -40～199℃。该参数表示电脑根据冷却液温度传感器送来的信号计算后得出的冷却液温度数值。**该参数的数值应能在发动机冷车起动至热车的过程中逐渐升高，在发动机完全热车后怠速运转时的冷却液温度应为 85～105℃。**当冷却液温度传感器或线路断路时，该参数显示为 -40℃，若显示的数值超过 185℃，则说明冷却液温度传感器或线路短路。

在有些车型中，发动机冷却液温度参数的单位为 V，表示这一参数的数值直接来自冷却液温度传感器的信号电压。该电压和冷却液温度之间的比例关系依控制电路的方式不同而异，通常成反比例关系，即冷却液温度低时电压高，冷却液温度高时电压低，但也可能成正比例关系。在冷却液温度传感器正常工作时，该参数值的范围为 0～5V。

注意

冷却液温度传感器损坏引发的故障现象较为典型的是发动机冒黑烟、冷车不易起动，若显示温度过高也会限制发动机转速，导致加速不良、怠速不稳、有时熄火等现象。

2）起动时冷却液温度分析。某些车型的电脑会将点火开关刚接通那一瞬间的冷却液温度传感器信号存在存储器内，并一直保存至发动机熄火后下一次起动时。在进行数值分析时，检测仪会将电脑数据流中的这一信号以起动温度的形式显示出来，可以将该参数的数值



和发动机冷却液温度的数值进行比较，以判断冷却液温度传感器是否正常。**在发动机冷态起动时，起动温度和此时的发动机冷却液温度数值是相等的。**随着发动机在热状态下起动，发动机冷却液温度应逐渐升高，而起动温度仍然保持不变。若起动后两个数值始终保持相同，则说明冷却液温度传感器或线路有故障。

3）进气温度分析。进气温度是一个数值参数，其数值单位为℃或℉，在单位为℃时其变化范围为－50～185℃。**该参数表示电脑按进气温度传感器的信号计算后得出的进气温度数值。**在进行数值分析时，应检查该数值与实际进气温度是否相符。在冷车起动之前，该参数的数值应与环境温度基本相同；在冷车起动后，随着发动机的升温，该参数的数值应逐渐升高，若该参数显示为－50℃，则表明进气温度传感器或线路断路；若该参数显示为185℃，则表明进气温度传感器或线路短路。

（5）共轨管压力分析

1）轨压传感器信号分析。轨压传感器适时检测轨管内的压力，通过电信号的方式把轨管压力送给发动机电脑，它是一个数值参数，单位为V，其数值范围为1.5（怠速时）～2.6（2500r/min时）V。在进行数值分析时，应检查轨压信号电压与实际转速的关系。转速越高，轨压信号电压越大，若低于最低下限或高于最高上限时，则表明传感器失效或线路故障，ECU据此将加大高压泵的供油量，燃油压力超高，泄压阀打开，发动机进入保护状态。

2）轨管压力值分析。轨管压力是一个数值参数，单位为MPa，其数值范围为30（起动）～130（高速）MPa，它是通过轨管压力传感器提供的压力信号由发动机电脑计算出来的，主要用于燃油系统检修时的数值分析。

在数值分析时，应检查数据流中额定轨管压力与实际轨管压力是否相等，若出现实际轨管压力大于额定轨管压力的情况时，发动机电子控制装置将通过燃油计量单元加大高压泵供油量，使燃油压力升高冲开限压阀（轨管压力可达176～180MPa），发动机进入保护状态。

（6）燃油控制参数分析

1）喷油脉冲宽度信号分析。**喷油脉冲宽度是发动机微机控制喷油器每次喷油的时间长度，是喷油器工作是否正常的最主要指标。该参数所显示的喷油脉冲宽度数值单位为ms。**

该参数显示的数值大，表示喷油器每次打开喷油的时间较长，发动机将获得较浓的混合气；该参数显示的数值小，表示喷油器每次打开喷油的时间较短，发动机将获得较稀的混合气。喷油脉冲宽度没有一个固定的标准，它随着发动机转速和负荷的不同而变化。

影响喷油脉冲宽度的主要因素有空气温度与密度、蓄电池电压（喷油器打开的快慢）；而喷油量过大的常见原因则是进气计量失准、电子油门控制单元损坏、有额外的负荷、某缸或数缸工作不良等。

2）燃油计量单元分析。燃油计量单元是一个执行元件，它是一个数值参数，在数据流中有两种表示方法：一种是显示电磁线圈触发脉冲，正常工作期间为1380～1420mA；另一种显示为百分比，正常工作范围在18%～20%之间。

（7）电子油门分析　电子油门也称加速踏板传感器，主要是通过驾驶人的愿望了解油门转动角度，作为发动机的负荷信号，并将其转变为电信号送给发动机电脑，负荷越高，电压越大。ECU据此信息进行相关比较和计算后，发出指令控制相关的执行器，油门转动角度是一个数值参数，其数值的单位一般有两种。

若单位为电压（V），则电装电子油门最大信号电压为4.4V；博世电子油门最大信号电

压为 3.8V。

若单位为百分比（%），则数值范围为 0～100%，该参数的数值表示发动机微机接收到的加速踏板位置传感器信号值，或根据该信号计算出的油门开度的大小。其绝对值小，则表示油门开度小；其绝对值大，则表示油门开度大。在进行数值分析时，应检查在油门全关时参数的数值大小。以电压为单位的，油门全关时的参数的数值一般为 0.7V 左右；以百分比为单位的，油门全关时该参数的数值应为 0。**此外，还应检查加速踏板转动时油门 1 与油门 2 之间的信号电压是否存在 1/2 的关系。**若有异常，则可能是加速踏板位置传感器有故障或调整不当，也可能是线路或微机内部有故障。

线性输出加速踏板位置传感器要输出与加速踏板开度成比例的电压信号，控制系统根据其输入电压信号来判断油门的开度，即负荷的大小，从而决定喷油量的控制。如果传感器的逻辑关系发生了变化，传感器输出的电压信号虽然在规定的范围内，但并不与油门的开度成规定的比例变化，就会出现发动机怠速不稳、加速不良、转矩限制甚至发动机熄火。

（8）起动信号分析　起动信号是一个状态参数，其显示内容为 YES 和 NO。该参数反映由电脑检测开关的位置或起动机回路起动时是否接通。在点火开关转至起动位置、起动机运转时，该参数应显示为 YES，其他情况下为 NO。**发动机电脑根据这一信号判断发动机是否处于起动状态，并由此来控制发动机起动时的燃油喷射、怠速转速。**在进行数值分析时，应在发动机起动时检查该参数是否显示为 YES。如果该参数仍显示为 NO，说明起动系统至电脑的信号电路有故障，这会导致发动机起动困难或无法起动。

◎◎◎　第四节　维修常用工具和仪表　◎◎◎

在汽车电器设备和电子控制系统的诊断过程中，需要借助一些维修工具和仪器。使用这些工具和仪器前，必须详细掌握其性能及操作方法和步骤，以防止误操作时人为地损坏某些器件而造成本来没有的故障出现。

一、诊断跨接线



跨接线是常规诊断中常用的一种辅助工具，它是在一根导线的两端做成不同的插片或插簧，以满足各种测试的需要：

如怀疑继电器触点有问题时，可采用两端均为片状形的插片作为测试针，分别插入继电器座的常开触点（通常为 30 和 87），将常开触点短接，若问题得到解决，即说明所怀疑的继电器触点有问题。

如怀疑继电器线圈不工作时，这时可采用一端为片状或尖形的插针插入线圈的（85 或 86）一端（背插），另一端采用鳄鱼夹或其他形式的插针找到一个正极或负极并且触碰，若继电器能正常工作了，说明原来线路有问题。

当怀疑某个开关有接触不良或断路的可能时，同样可采取跨接线的方法，并根据实际情况选择合适的测试针的跨接线，将原来开关线束拔下，将所选择的跨接线跨接上去，若问题得到解决，证明该开关或触点有问题。



在检修电路故障、查找导线接触不良时，有时因车辆线束较长，如开关到继电器或用电器之间的线路、驾驶室内到驾驶室外的线路，而万用表的表笔线长度不够，此时可采用较长的跨接线连接在万用表的表笔线上延长测试线的长度，以提高工作效率。

图 4-11 所示为常用的几种诊断跨接线。

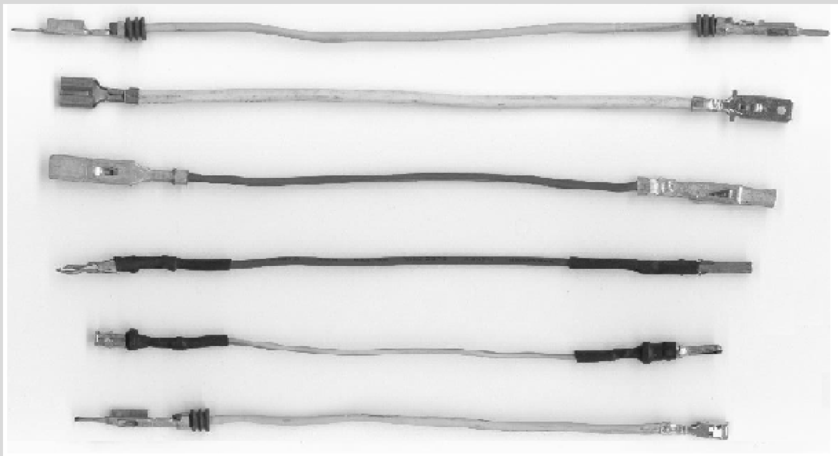


图 4-11　常用诊断跨接线

在测量某器件的电流时，必要时需断开导线，这样既不方便又破坏了导线，还留下了隐患，所以类似测量器件电流时，需借助过渡导线，这就是特殊的跨接线。使用时将被测器件与线束脱开，把过渡线 A 线的两端分别插入器件与线束对应的插簧和插片之间，带插片的 B 线插入线束侧的另一个插簧，带插簧的 C 线插入器件的另一个插片，将万用表的两根表笔线分别串接于 B 线和 C 线悬空的另一端，设备工作时即可观察电流，如图 4-12 所示。

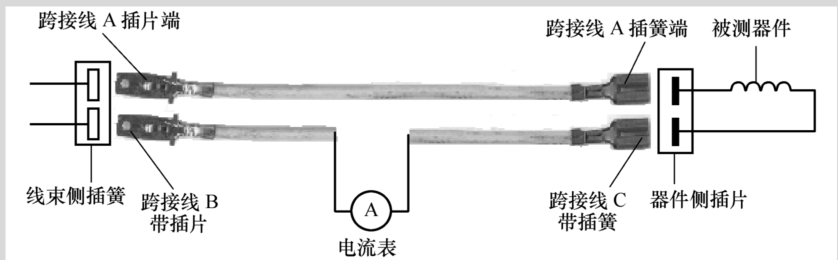


图 4-12　利用跨接线测量工作电流

总之，在检修电器和电路故障时，除了万用表外诊断跨接线外，再制作一些方便实用的多种形式的跨接线非常必要，它可避免检修时临时找一些替代方法而造成不必要的接触不良甚至短路的危险。

注意

跨接线用途非常广泛，但在使用时必须在确认电气元件的工作电压相同、电源极性相同的条件下进行，否则会造成电源与搭铁间的短路。

二、测试灯

测试灯一般有两种：一种是灯泡测试灯；另一种是 LED 测试灯。各自用途不同。

1. 灯泡测试灯



在常规电气电路的故障检查时，灯泡测试灯是一种非常方便、实用的检测手段，对车辆上任何的电源电压（12V 或 24V）的正极或者负极的确认，灯泡测试灯的效果远比万用表电压档明显，且能提高维修效率。

例如，检查蓄电池电源，可将灯泡测试灯的两端快速地触接到蓄电池的正、负电极上，观察灯泡的亮度，通过灯泡的亮度可粗略地判定蓄电池的电量如何；当蓄电池严重亏电时，灯泡亮度有明显的变化。而起动机无法起动的蓄电池电压的测量，用万用表电压档测量却仍然能显示电源电压，这是因为万用表内阻大，尽管蓄电池电量所剩无几，但电动势存在，所以能够显示其电压正常，这时候没有经验会给维修带来误诊断。

在检查熔断丝、继电器线圈控制端、继电器触点、开关的输入和输出、用电器上是否有电流或电压，最直接、最快速、最方便的测试手段还是灯泡测试灯，只不过有针对性地将基准选择在正极或者负极上。

灯泡测试灯有市售的，也可以自己动手制作，使用起来相当方便。灯泡可以局部照明用，测试针也可用于拆卸插头内的插簧和插片，可谓一物多用。具体制作需要一个弹性较好的小鳄鱼夹，将一个仪表灯泡的小灯口焊接于小鳄鱼夹的一个手柄上，再从灯口内引出一根较软的导线，在导线的另一端焊接一个测试针（尖形或扁形），这个测试针就可用于拆卸插簧和插片，灯泡选用 3～5W 的即可，制作成品如图 4-13 所示。


图 4-13　自制灯泡测试灯

2. LED 测试灯

二极管测试灯在常规电气电路，特别是电控系统故障检修中，同样有它独特的作用，针对低压电源电压（传感器参考电压 5V），**特别是执行器的脉冲控制信号，使用 LED 测试灯既方便又实用，同时还可以测量系统电压。**

按图 4-14 所示准备红色、绿色发光二极管各一个，330～1000Ω 范围内的电阻器一个，将三个元件按照图示焊接在一起，封装在一个如笔杆的透明装置内，分别引出两根导线作为测试灯的电极：一根电极可以焊接一个鳄鱼夹，另一根电极焊接一个测试针。也可以根据需要给测试灯两个电极导线制作不同的测试针，用于测量传感器或执行器的脉冲信号。

这种测试灯除了上述作用外，还可将测试灯跨接到诊断座上，触发 ECU 调取故障码，并且可以通过 LED 灯的闪烁频率，直接读取故障码含义，以便诊断故障。



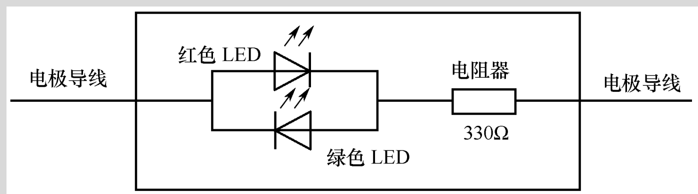


图 4-14　二极管测试灯

三、测试针

测试针在检修电气设备、电控装置和电气线路中也是一种不可或缺的方便工具，在动态检测传感器的工作电源、信号电压、开关的输入和输出、执行器的控制电压等时，万用表的测试笔不易触接到被测接线端子或导线，而根据需要制作不同形状的背插式测试针，就可很方便地和万用表测试笔连接，较为准确地读取数据而又不破坏导线。而在静态检查线路故障时，利用合适的测试针可很方便地对较小的插针、插孔，特别是 ECU 的线束插头进行导通检查，而不会破坏插簧弹性制造故障隐患，从而能提高工作效率。各种测试针如图 4-15 所示。


图 4-15　测试针

四、万用表

万用表是一种能测量多种电量参数且多量程的便携式仪表，是对导致故障的电器、电子器件以及导线最终确定的最佳工具。常用的万用表分为指针式和数字式，除此之外还有汽车专用万用表，现在使用最多的是数字万用表。一般的数字万用表都具备电压、电流、电阻、二极管的测试功能，有些万用表还有电容、温度、晶体管测试功能。汽车专用万用表在上述功能的基础上增加了一些如测试转速、频率、闭合角等功能，虽然后者功能增加，但最常用的还是电压、电阻和二极管的测试。

1. 数字万用表简介

数字式万用表主要由数字电压基本表、测量电路、量程转换开关等组成。其中测量电路能将待测电量和电参量转换为毫伏级的直流电压，供数字电压基本表显示待测量值。当量程转换开关置于不同的位置时，可组成不同的测量电路。图 4-16 所示为 DY2201 数字式万用表的面板。

(1) 液晶显示屏　面板顶部的液晶显示屏采用EF型大字号LCD显示器，最大显示值为1999（或－1999），仪表具有自动显示极性功能，当表笔与被测电压或电流的极性相反时，显示值前将带“－”号，对参数没有影响；显示屏上的小数点由量程开关进行同步控制，可使小数点左移或右移；当仪表内装电池的电源电压（一般为9V或15V）低于工作电压，显示屏有提示图形或符号时，应尽快更换电池；输入超量程，即被测参数值超出所选量程时，显示屏左端出现“1”或“－1”的提示字样，此时应加大量程再试。

(2) 电源开关　数字式万用表都设有电源开关，面板左上部按键上标有字母“POWER”（电源），按下开关即打开了仪表电源。再按一下开关复位及关闭仪表电源。使用完毕应将电源开关断开以免消耗电池电量，不过数字式万用表一般都设计有自动保护功能，当停止使用一段时间（保护时间不等），仪表内电源会自动切断。除了设计有独立的电源开关外，有些电源开关与量程转换开关为一整体，关闭时转换开关指向OFF，转换至任何档位均可打开仪表电源。

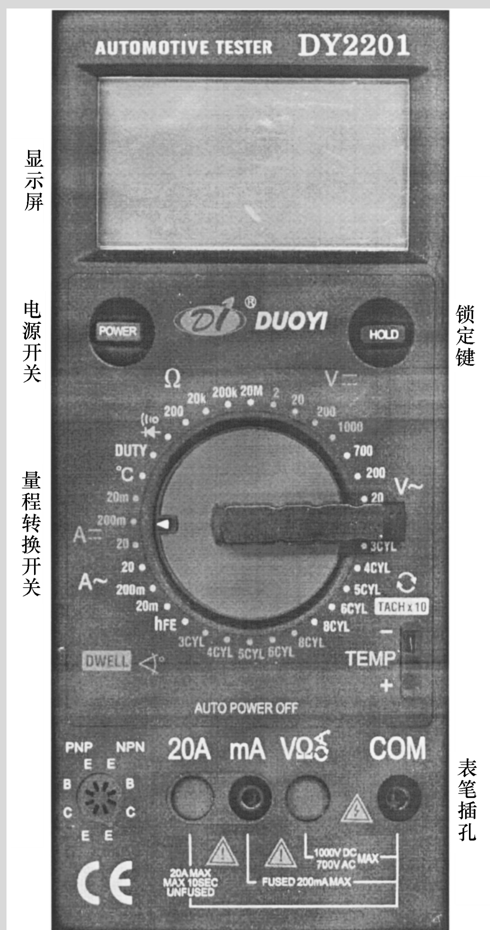


图4-16　数字式万用表

(3) 量程转换开关　旋转式量程开关有两个作用：一个是档位的选择，如电阻档（Ω）、直流电压档（V⎓）、交流电压档（V~）、电流档（A）以及二极管档（·))) ▶|）等；另一个是量程的选择，当选定工作状态时，还要根据被测参数选择合适的量程。

(4) 锁定键　数字式万用表的数值无论何种电参数在显示时都会不停地变化，即使是静止的参数也会闪烁，当确认表笔与被测端接触良好状态稳定时，即可按下锁定键，使数值固定在某一参数以便读取。

(5) 表笔插孔　表笔插孔及仪表的输入端，根据不同的仪表有不同的插孔，DY2201有四个插孔，如图4-17所示。

使用时，黑色表笔应置于“COM”插孔，红色表笔应根据被测量的种类和大小置于相应的插孔。例如，在电压档插孔与公共端子“COM”之间输入的直流电压不可以超过1000V，交流电压（有效值）不可以超过750V；在毫安级（mA）与“COM”之间不应超过200mA；在安培级（20A）与“COM”之间输入的交流、直流电流不应超过20A。

(6) 电池盒　电池盒位于后盖下方，在标有“OPEN”（打开）的位置，按箭头指示方



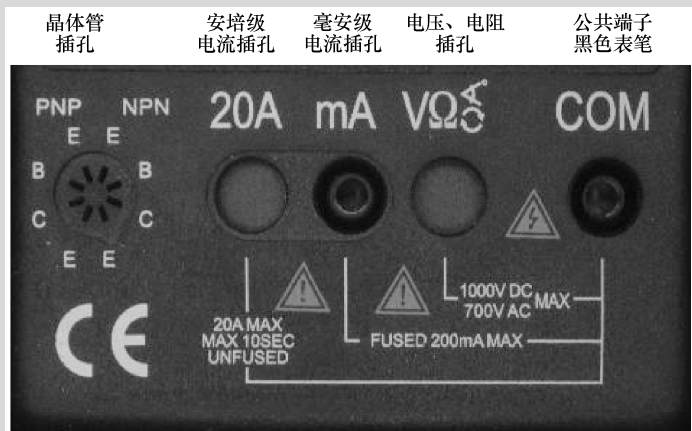


图 4-17　万用表输入插孔

向拉出活动抽板，可更换电池。为检修方便，0.5A 快速熔断器管也装在盒内，起过载保护作用。

2. 数字万用表的使用

（1）直流电压的测量　将量程转换开关的箭头一端拨至“V ⎓”范围内的适当量程，黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入电压档插孔，将电源开关按下，表笔接触测量点，显示屏上出现测量值，如图 4-18 所示。



图 4-18　直流电压档的测量

（2）交流电压的测量　将量程转换开关的箭头一端拨至“V～”范围内的适当量程，表笔接法、测量方法与直流电压方法相同，如图 4-19 所示。



图4-19　交流电压档的测量

（3）电阻的测量　将量程转换开关的箭头一端拨至“Ω”范围内的适当量程，黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入电阻档插孔，将电源开关按下，两根表笔接触被测器件，显示屏上出现测量值，如图4-20所示。

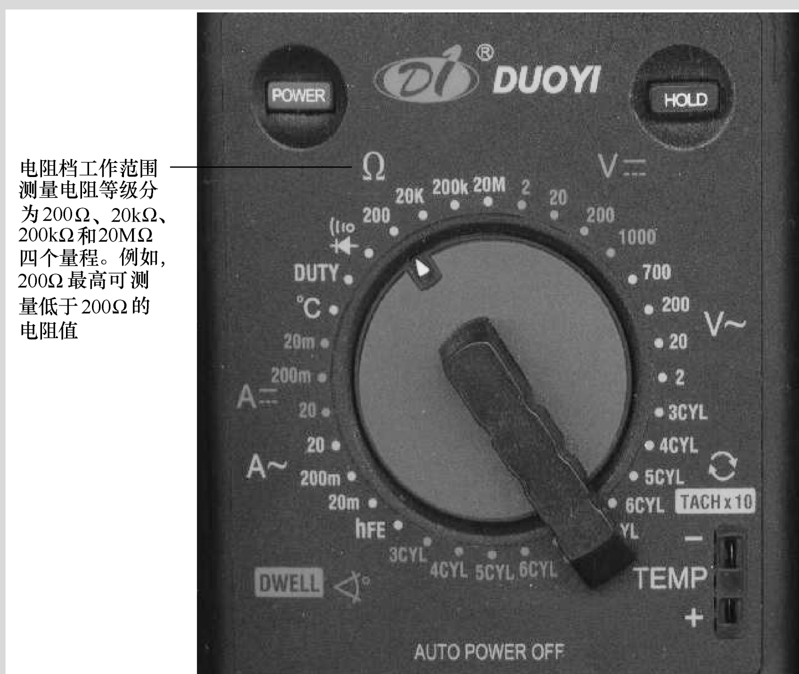


图4-20　电阻档的测量



（4）二极管档的测量　将量程转换开关的箭头一端拨至“　”档，黑表笔插入“COM”插孔，红表笔插入电阻档插孔，将电源开关按下，有两种测量功能：一种是晶体管P/N结的测量；另一种是开关、触点、线路导通情况的测量，如图4-21所示。



图4-21　二极管（蜂鸣）档的测量


注意

在常规电气线路故障的检修中，用于开关、触点、线路导通情况的检查主要是通过蜂鸣档来完成。使用时，将两个表笔分别触接被测的开关或导线的两端，若开关接触良好或线路导通正常，显示屏会显示很小的数值甚至为0，同时表内蜂鸣器鸣响；但遇有开关或触点接触不良或线路连接不良时，显示屏显示的数值较大，但有时蜂鸣器也会响，这是由于数字表内部测量电路精准问题造成的，有时数值达到70～80还会鸣响。如果误将此次测量认为开关或线路正常的话，可能会对故障判断带来不利，特别是电控系统传感器的线路，对电脑获取信号影响很大。所以在使用蜂鸣档时，首先要将两个表笔短接以观察显示值，应该为0或数值很小，这与表内电池电量有关，电量越足显示数值越小。把表笔短接后显示的数值作为基准，测量开关或线路时的数值越接近基准越正常，偏差越大说明开关或线路有接触不良地方，应继续检查。千万不要只听到蜂鸣声而不看显示数值就认为正常，这是很严重的错误做法。

在对晶体管测量时，利用二极管单向导电的特性，对晶体管或二极管的P/N结进行测量，同样选择该档位。测量时将两个表笔分别触接被测元件的两端，若是正向连接，即红表笔接二极管的“+”或P，黑表笔接二极管的“-”或N（红表笔为表内电池正，黑表笔

为表内电池负，与指针表相反），显示屏会显示一个数值。若是硅材料二极管，其数值为500～700mV，若是锗材料二极管，其数值为300～500mV，而反向连接时则均没有数值显示，这是正常情况；若正反向连接均没有数值显示，表示该元件断路，若是正反向连接均有蜂鸣声且数值显示为0或很小，说明该元件已经短路。

（5）直流电流的测量　将量程转换开关拨至“A－”范围内的适当量程档，当被测量电流小于200mA，红表笔应插入“mA”插孔，黑表笔插入“COM”插孔，将电源开关按下，接通表内电源，把仪表串接入被测电路，即可显示读数，如图4-22所示。

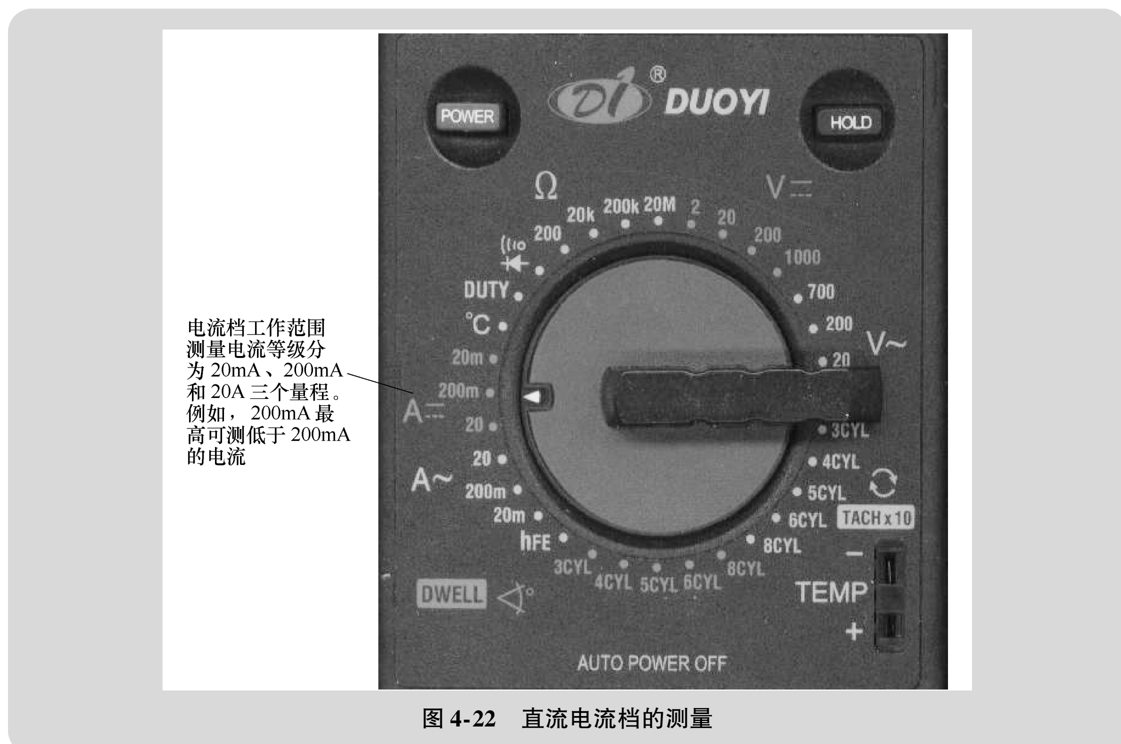


图4-22　直流电流档的测量

当被测电流大于200mA，应将量程开关置于20A档，红表笔应插入“20A”插孔，显示值以“A”为单位，若是测量小于20mA的电流，量程开关置于20mA档，红表笔应插入“mA”插孔。

交流电流的测量方法同直流电流的测量，只是将量程转换开关选择在交流电流档“A～”的范围。

五、诊断仪

在检修电子控制系统时，利用诊断仪协助查找故障源或者故障点是十分有效的，它已经成为对电子控制系统故障诊断的必备工具。目前，维修中使用最多的是便携式诊断仪，因其携带方便，操作简单，很受欢迎。有专用车型诊断仪，也有综合车型诊断仪。前者是汽车制造厂针对本厂车型而设计，只适用于单一车系，但它测试功能较强；后者适用车型较广，某些功能略差于专用诊断仪，但很适合非专业车型修理，同样受到欢迎。对于诊断仪的使用，可以借助产品说明进行操作，更有针对性且效果更好，不同的诊断仪其功能各不相同。下面



就各种诊断仪的一些功能进行简要介绍。

1. 故障检测功能

1）从发动机电脑存储器中读取所存储的故障码。

2）检修后，根据操作者的指令清除发动机电脑中所存储的故障码。

3）在发动机运转或汽车行驶时，对发动机电脑控制系统的参数进行动态测试。

4）中文显示详细的故障内容。

5）OBD-Ⅱ故障检测及数值分析。

6）提供闪烁码的各种测试方法。

7）通过汽车专家库获得故障维修技术资料。

8）提供各种执行器测试。

9）诊断结果本机打印或联网打印。

2. 传感器测试功能

1）可对车用传感器的电压或频率信号进行采集，并可判断传感器是否有故障。

2）可模拟输出 0 ~ 12V 或 0 ~ 15kHz 的传感器信号，通过传感器连接线送入电子控制器（ECU），来判断传感器及 ECU 本身的故障。

3. 示波功能

1）存储功能强，128 个屏幕用于运行记录，15 个内部存储器存储设置信息。

2）示波范围宽，从传感器波形到喷油、点火高压波形均能显示。

3）记录能力广，单通道连续 128 个屏幕，双通道连续 64 个屏幕，可及时通过 4 个参数读数绘图。

4. 诊断仪使用中应注意的问题

诊断仪在使用中应特别注意两个方面的问题。

（1）诊断仪的连接　诊断仪是通过车辆为其提供电源的，虽然诊断仪大多具有极性保护装置，但在与车辆连接时要注意电源等级与电源极性，只有测试导线正确连接后，诊断测试仪的输入和输出级才能被可靠地防护。

（2）常见车型诊断接口　自 1994 年以来，世界各主要汽车制造厂生产的汽车逐步开始使用第二代随车诊断系统（OBD-Ⅱ），到目前为止，绝大多数汽车，特别是汽油车都在使用统一的（OBD-Ⅱ）诊断插座。但是柴油车电控系统的诊断用插座仍然没有达到统一，而且形式各异。下面就常见车型诊断座介绍如下。

1）玉柴系列柴油发动机。① 玉柴博世共轨柴油机系列发动机诊断插座。玉柴博世共轨柴油机系列发动机诊断插座如图 4-23 所示。

② 玉柴南岳衡阳电控柴油机系列发动机诊断插座。玉柴南岳衡阳电控柴油机系列发动机诊断插座如图 4-24 所示。

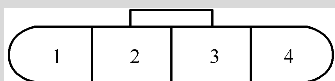


图 4-23　诊断插座（一）
1、2—诊断 K 线（E189）
3—电源负　4—电源正（24V）

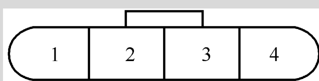
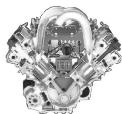


图 4-24　诊断插座（二）
1—诊断 CAN—H（A3）
2—诊断 CAN—L（A4）
3—电源负　4—电源正（24V）



③ 玉柴德尔福共轨柴油机系列发动机诊断插座。玉柴德尔福共轨柴油机系列发动机诊断插座如图 4-25 所示。

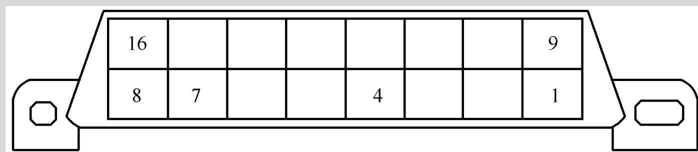


图 4-25　诊断插座（三）

4—电源负　7—诊断 K 线（E231）　16—电源正（24V）

④ 玉柴德尔福单体泵柴油机系列发动机诊断插座。玉柴德尔福单体泵柴油机系列发动机诊断插座如图 4-26 所示。

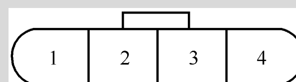


图 4-26　诊断插座（四）

1—诊断 CAN-H（J3-45）

2—诊断 CAN-L（J3-53）

3—电源负　4—电源正（24V）

⑤ 玉柴美国天然气系列发动机诊断插座。玉柴美国天然气系列发动机诊断插座如图 4-27 所示。

2）朝柴系列柴油发动机。

① 朝柴博世系列柴油发动机诊断插座。朝柴博世系列柴油发动机诊断插座如图 4-28 所示。

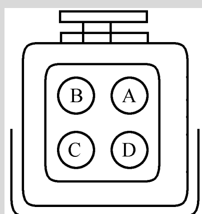


图 4-27　诊断插座（五）

A—诊断线（RX）

B—诊断线（RT）

C—电源正　D—电源负

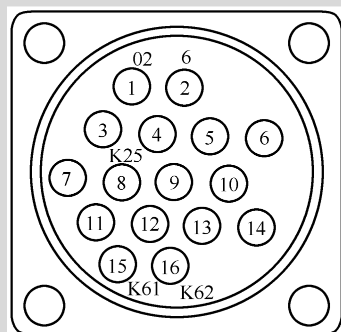


图 4-28　诊断插座（六）

1—电源正（24V）　2—电源负

8—诊断 K 线（K25）　15—CAN-H（K61）

16—CAN-L（K62）

② 朝柴西门子柴油机系列发动机诊断插座。朝柴西门子柴油机系列发动机诊断插座如图 4-29 所示。

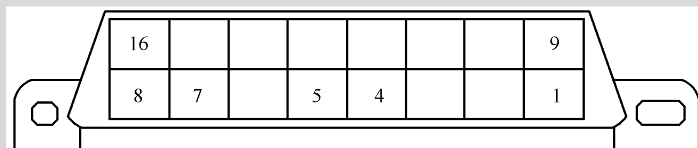


图 4-29　诊断插座（七）

4—电源负　5—电源负　7—诊断 K 线（AB4）　16—电源正（24V）



3）锡柴系列柴油发动机。

① 锡柴博世共轨系列发动机诊断插座。锡柴博世共轨系列发动机诊断插座如图 4-30 所示。

② 锡柴电装共轨系列发动机诊断插座。锡柴电装共轨系列发动机诊断插座如图 4-31 所示。

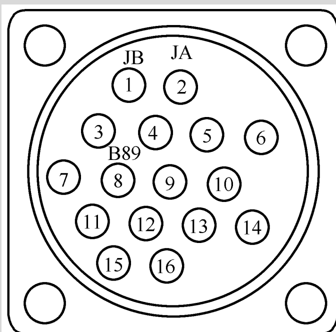


图 4-30　诊断插座（八）

1—电源正（24V）　2—电源负

8—诊断 K 线（B89）

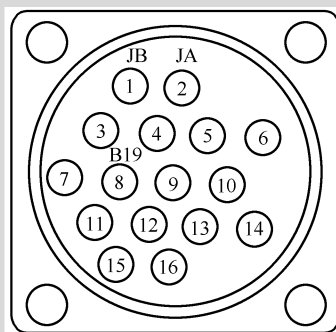


图 4-31　诊断插座（九）

1—电源正（24V）　2—电源负

8—诊断 K 线（B19）

4）大柴系列柴油发动机。

① 大柴博世（EDC16）系列发动机诊断插座。大柴博世（EDC16）系列发动机诊断插座如图 4-32 所示。

② 大柴 CA6DE3 系列发动机诊断插座。大柴 CA6DE3 系列发动机诊断插座如图 4-33 所示。

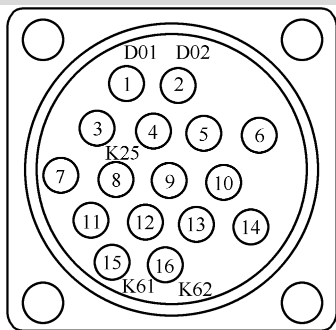


图 4-32　诊断插座（十）

1—电源正（24V）　2—电源负

8—诊断 K 线（K25）

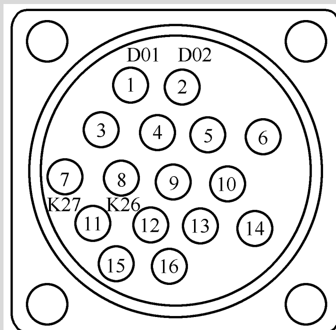


图 4-33　诊断插座（十一）

1—电源正（24V）　2—电源负

11—DATAL INK +（K27）

12—DATAL INK -（K26）

③ 大柴 CA4DC2（EDC16）系列发动机诊断插座。大柴 CA4DC2（EDC16）系列发动机诊断插座如图 4-34 所示。

5）潍柴博世系列柴油发动机。潍柴博世系列柴油发动机诊断插座如图 4-35 所示。

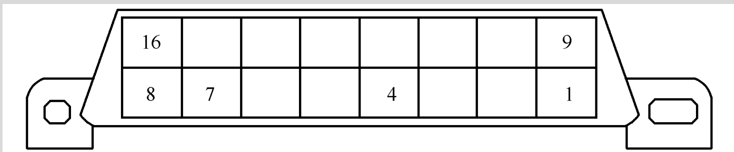


图 4-34　诊断插座（十二）

4—电源负　7—诊断 K 线（K25）　16—电源正（24V）

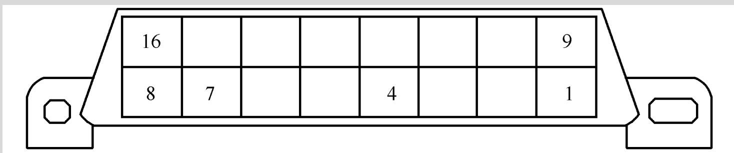


图 4-35　诊断插座（十三）

4—电源负　7—诊断 K 线（K89）　16—电源正（24V）

6）五十铃 6K1E 系列柴油发动机。五十铃 6K1E 系列柴油发动机诊断插座如图 4-36 所示。

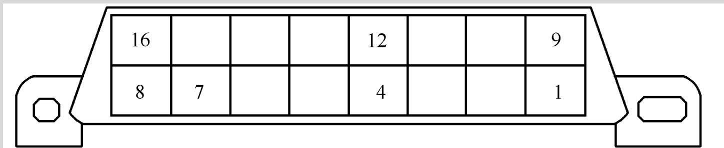


图 4-36　诊断插座（十四）

4—电源负（V1）　7—诊断线（V38）　12—诊断线（B52）　16—电源正 24V（V24）

7）红岩菲亚特博世系列柴油发动机。红岩菲亚特博世系列柴油发动机诊断插座如图 4-37所示。

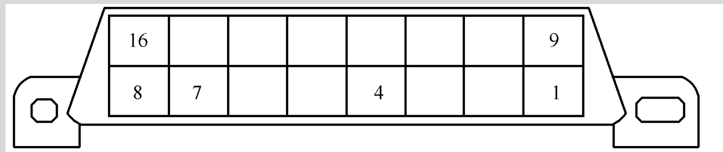


图 4-37　诊断插座（十五）

4—电源负　7—诊断线（K89）　16—电源正（24V）

◎◎◎　第五节　故障维修案例　◎◎◎

一、起动困难故障

案例 1

车型：一汽豪沃，电装系统。



故障现象：行驶途中突然熄火，再次起动无着火迹象。

故障检查：这台车辆行驶途中突然熄火，坏在路上，电话告知主要是燃油计量单元没有点火供电，查找几个小时仍然没有找到故障所在，眼看天色已晚请求帮忙解决。

赶到现场简单询问情况，决定先从燃油计量单元（PCV 电磁阀）查起。在关闭点火开关的情况下，将 PCV 电磁阀线束插头拔下，接通点火开关，将测试灯的一端鳄鱼夹搭铁，另一端触接 PCV 电磁阀线束的任意两线，测试灯均无点亮，确认此处无点火供电。

故障分析：为了彻底搞清楚 PCV 电磁阀的供电情况，参照电路图现场就地画下该电路的简单工作原理图（图 4-38）。

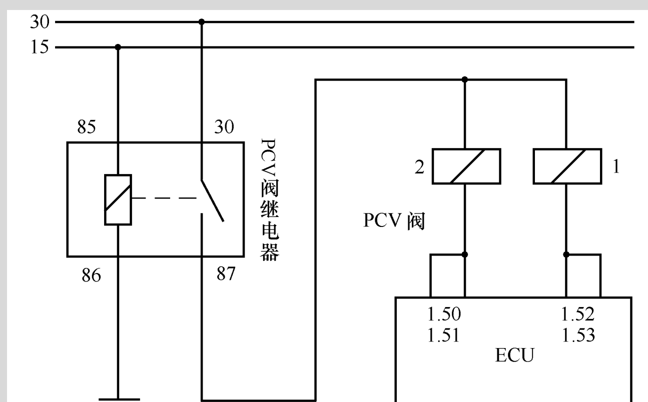


图 4-38　燃油计量单元电路原理图

接通点火开关，PCV 电磁阀继电器的 85 端子得到点火供电，经线圈通过继电器的 86 端子搭铁，继电器线圈构成闭合回路产生磁力，吸合触点；蓄电池正极至 PCV 电磁阀继电器的 30 端子、继电器内部已经闭合的常开触点，由继电器的 87 端子输出至 PCV 电磁阀，从而使 PCV 电磁阀得到点火供电，这是 PCV 电磁阀的供电情况。当发动机运转时，发动机电脑再根据各传感器信息经分析、判断最终输出驱动信号给 PCV 电磁阀的控制端，使其工作调整高压共轨管压力。

所以，PCV 电磁阀没有点火供电，一方面要落实 PCV 继电器是否工作，另一方面要检查继电器至电磁阀线路导通情况。

故障排除：在仪表台右侧的熔丝及继电器盒里找到了燃油计量单元继电器，打开点火开关后确认继电器工作正常，且能从继电器的 87 端子送出 24V 电源。

重点应放在继电器输出至 PCV 电磁阀的线路上，从继电器的 87 端子至 PCV 电磁阀用万用表蜂鸣档检查为断路，通过逐段检查，发现在右前灯后至继电器侧的线路有断路现象，故障点终于找到了。

为了尽快解决问题，将断线的两头剪断并包扎，另外换一新线连接并包扎，接通点火开关，再检查 PCV 电磁阀有了点火供电，起动发动机，排气后发动机正常工作。

案例 2

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：起动时起动机无反应。

故障检查：无故障码显示，蓄电池、起动机连线、熄火开关、空档开关均正常，采取应急措施，将起动机蓄电池正极输入与电磁开关输出接线柱短接直接起动，起动机工作正常。

故障应为控制线路。

故障分析：在博世高压共轨电控系统中，起动机是由发动机电脑最终控制的，所以首先要了解起动机控制电路，参照原车电控电路整理出起动机控制电路如图 4-39 所示。

分析电路可知，当点火开关旋至起动位置时，发动机电脑的 1. 61 端子得到起动信号，由发动机电脑的 1. 37 和 1. 51 端子输出起动继电器控制信号，继电器线圈工作产生磁力，吸合触点将蓄电池正电源送至起动机电磁开关的 S 端子，电磁开关工作后内部触点闭合，将蓄电池正电源送至起动机，起动机才能运转。

上述检查中，将电磁开关的 B 与 C 端子短接后起动机能正常工作，说明故障有可能是起动继电器的 30 触点没有电、继电器损坏，也可能是继电器线圈控制线断路，或者发动机电脑没有得到起动信号或电脑没有输出信号。

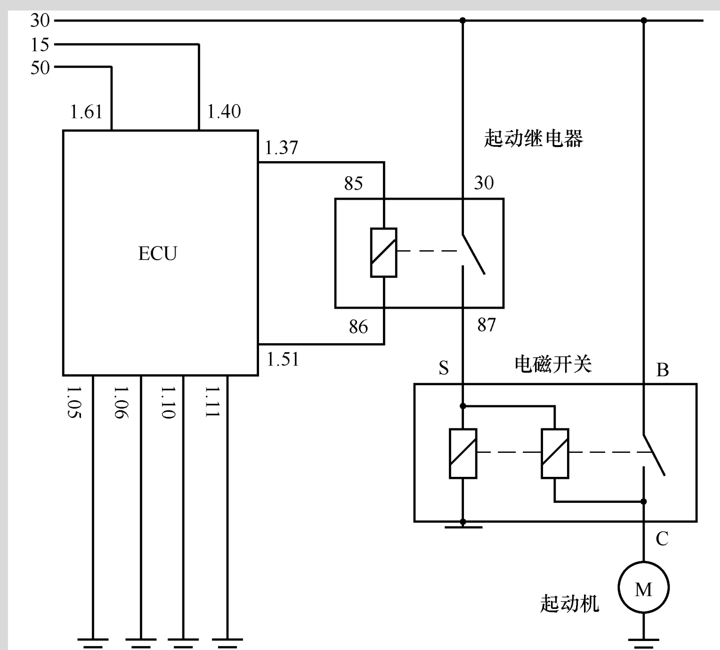


图 4-39　起动机控制电路原理

故障排除：本着先易后难的维修原则，首先找到起动继电器，检查其 30 供电正常，继电器未见异常，所以考虑是否控制线路断路。查找继电器到发动机电脑之间的控制线路时，拆下电脑整车线束插头后发现整车线束插接件与电控单元（ECU）端子处有烧焦痕迹，经核实为 ECU 端子 1. 37、1. 51（连接起动继电器的两个端子）已经烧断，致使 ECU 无法控制起动机继电器线圈，经详细检查 ECU 确实无输出，由此可判定 ECU 损坏。

故障排除：更换 ECU。发动机正常工作。

注意

电控单元（ECU）内部烧毁或端子处烧焦的现象很少发生，一旦出现这种现象，很可能在电控系统相关电路发生过短路或过电压、大电流的情况，或者是出现 ECU 端子接触不良、密封件失效进水等现象；经与用户了解，故障前曾经对车辆进行过焊接，但未拔掉 ECU 插头，所以，在对车辆进行焊接作业时一定要将电控单元拆掉或断开其电源。



案例 3

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：行驶途中突然熄火，起动时起动机不转。

故障检查：本着由简到繁、先易后难的维修原则，在起动机起动端子上连接测试灯，起动时测试灯不亮，后直接给起动机的起动端子送电，起动机转动正常，发动机也随之转动，但发动机无着火迹象。在检查点火开关时，发现接通点火开关后，位于仪表板上的故障灯不亮，此时怀疑发动机电脑没有点火供电。

关闭点火开关，拔下进气压力传感器、冷却液温度传感器等，再接通点火开关，测量传感器上都没有工作电源或参考电压，确认 ECU 没有供电或损坏。

在关闭点火开关的情况下，将 ECU 插头拔下，发现电脑线束插头的 1.40 端子有严重的烧焦现象，但线束侧有点火供电，疑似点火供电送不到电脑内，电脑不能工作所至。

故障分析：在检修电脑、线束插头时，发现其他端子也有不同程度的氧化现象，像是电脑插接器密封不良有水侵入的迹象；本案例故障可能是由于电脑端子进水，产生接触电阻最终烧蚀，使发动机电脑得不到点火供电而不能工作。

故障排除：发动机电脑烧坏的概率很小，所以首先应处理电脑供电端 1.40 的接触问题，通过对电脑端子的除锈、烧蚀处理以及线束侧插簧的弹性处理，恢复线束与电脑的连接，接通点火开关后故障灯点亮，起动时起动机、发动机工作正常。

案例 4

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：起动机工作正常，但发动机无着火迹象。

故障检查：首先连接故障诊断仪读取故障码，无故障码存在，然后对燃油系统进行检查，将低压、高压管路系统内空气排空，试着起动发动机，结果顺利起动，随后收拾工具准备结束检修。而熄火几分钟后再次起动又出现起动困难现象，检查发现燃油管内仍然有空气，排气后又能顺利起动，稍等几分钟后故障依旧，因此确定燃油管路存在进空气现象。

故障分析：燃油系统连接管路较多，检修或更换燃油系统部件，特别是拆装频繁时，对各个部件的拧紧力矩掌握不准确或是管接头处理不干净等都会造成对部件的损伤、密封性能变差。本例故障，排空气后能顺利起动，说明电控系统正常，发动机不起动的原因可能是管路系统的某个接口或管路本身有漏气现象存在，应仔细检查。

故障排除：经仔细检查燃油管路部件，发现燃油粗滤器进油口螺纹处有轻微损伤，导致空气进入油路，造成发动机无法正常起动。

更换粗滤器或低压油路部件后发动机正常起动。

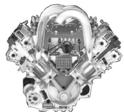
案例 5

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：起动机、发动机转动正常，但发动机无法起动。

故障检查：利用诊断仪未读到故障码，检查燃油系统低压油路正常、高压泵的出油正常、供油量充足。依次将喷油器回油管松开观察喷油器回油量。经对比观察，发现只有第三缸喷油器回油量较大，其他各缸喷油器回油量基本正常，据此可判断第三缸喷油器损坏。

故障分析：柴油机共轨燃油系统部件，特别是喷油器、燃油计量单元等部件，对燃油质量要求很高，劣质的燃油或含水量较高的燃油会造成喷油器针阀磨损，导致密封不严或卡滞



现象，如果泄漏过大则可能造成轨管压力降低，起动轨压不足以开启喷油器而无法起动。通过上述检查可初步判定三缸喷油器有泄漏或卡滞现象。

故障排除：疑似燃油质量所至，所以更换第三缸喷油器，并将其他喷油器进行了清洗，更换并增加了具有除水功能的合格的柴油滤清器，发动机顺利起动，同时建议用户尽快更换质量可靠的优质燃油。

案例 6

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：发动机无法起动且无故障码。

故障检查：起动时，起动机转动有力，发动机运转正常，但无着火迹象，疑似油路问题。将高压泵的高压油管接口松开，用起动机带动，发现无燃油流出，判断高压泵内有空气，设法将回油管折住，继续用起动机带动排气，等有燃油流出后，恢复管路，起动发动机仍然无法起动。

看来燃油管路漏气现象严重，再次检查低压管路仍未发现问题，顺着油管检查至燃油箱时，发现油箱液位很低，回油管刚刚置于燃油液位之下。

故障分析：燃油系统是不能进入空气的，但对燃油系统的检查也未见异常，而油箱内的液位过低，会不会是由于回油管油流冲击液面溅起气泡，被输油管连气带油吸进出油管，造成燃油管路内产生大量空气而导致不能起动呢？

故障排除：根据分析判断，可能由于燃油液位不足所至，于是添加油箱内燃油，排空油管内空气，发动机顺利起动。

案例 7

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：发动机起动困难。

故障检查：用诊断仪读取不到故障码，从数据流观察同步信号数值正常，显示为 48，但反应时间略长（比较平时情况）。对曲轴转速传感器和凸轮轴转速传感器进行检查时，发现曲轴转速传感器表面有吸附物，类似金属销、飞轮信号盘上沾有油污、泥土且很脏，线束及传感器插接器未见异常。

故障分析：柴油电控系统中通过曲轴和凸轮轴转速传感器的对比信号，来确定喷油器的喷油顺序、喷油时间。案例中发现同步信号反应时间较长且曲轴传感器、飞轮信号孔有脏物，导致传感器不能及时准确识别飞轮上的信号位置，信号电压肯定会受到影响，发动机电脑无法做出正确的判断和输出正确的驱动控制信号，导致起动困难。

故障排除：重点清除了曲轴转速传感器及飞轮信号盘上的脏物，保证传感器的正确识别，发动机顺利起动。

案例 8

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：起动机、发动机运转正常，无故障码，发动机无法起动。

故障检查：连接诊断仪，起动时观察数据流，发现轨压达不到起动最低压力 16MPa；用起动机带动发动机，检查共轨限压阀，无泄漏；断开高压油泵出油管，发现高压油泵两个出油口都出油，但油柱高度不一样，一个高度约 4.5cm，一个不足 2.0cm，判断为高压泵供油能力不足。



故障分析：从以往维修经验数据可知，发动机起动转速达到 200～250r/min 以上，高压油泵出油油柱应有 4.5cm 的高度，而通过上述轨管泄压阀的检查和高压泵高压输出管出油口处油柱高度不同的目测对比，判断故障主要原因应为高压泵供油不足所至，而劣质燃油是导致高压油泵柱塞早期磨损的真正原因。

故障排除：更换高压油泵，更换并加装除水放心滤。

案例 9

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：起动机正常运转，柴油机无法起动。

故障检查：通过询问客户得知，该车从厂家提车时加注了 -10 号柴油，回到当地（东北）停车后次日无法起动。

经检查低压油路，发现油箱结腊，造成燃油流动性受阻，堵塞油路和各个滤芯，导致了发动机无法起动。

故障分析：柴油发动机燃油受环境温度影响很大，该车在使用柴油时未根据环境温度选择不同标号的柴油，而造成柴油结腊导致进油管受阻或堵塞。

故障排除：彻底更换柴油（符合当地温度的 -35 号柴油），疏通油路或更换滤芯。

案例 10

车型：秦皇岛通联 WP12。

故障现象：起动时间过长，有时需要喷一些起动液方可起动。

故障检查：接通点火开关，故障指示灯能够点亮，初步说明发动机电脑供电正常，检查电控系统传感器、执行器线束、插接器未见异常；检查燃油系统管路时，发现低压油路油管太细，内径大约 6mm，远小于潍柴规定最低 12mm 的要求。

故障分析：由于低压油管内径小于规定的 12mm，导致低压供油量不足，进而使高压泵功率降低，轨压建立过程过慢，致使起动时轨压达不到规定值，喷油量不足，导致起动时间过长。根据这种情况分析，此车即使起动后，行驶中也会感觉加速不畅、发动机无力。

经与用户了解，该车行驶途中出现了熄火现象，经柴油机维修人员现场检修，称油管漏气故更换了低压油管，后就出现了此种情况。

故障排除：检查油管及各个连接处，更换符合规格的低压管路并排放空气，发动机顺利起动。

二、起动后熄火故障

案例 11

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：发动机工作一段时间就会动力不足继而熄火，但停车熄火一段时间后又能正常工作，但再工作一段时间后又会无力而熄火。

故障检查：读取故障码并删除故障码，只有 242 冷却液温度过高故障码存在；通过诊断仪数据流查看，起动后发动机冷却液温度迅速达到 107℃，但实际冷却液温度只有 50～60℃，再对水路进行检查未见异常，怀疑冷却液温度传感器损坏。

关闭点火开关，拔下冷却液温度传感器线束插头，拆下冷却液温度传感器，进行加温试验，发现温度与电阻值变化不是线性关系，而是跳跃式变化，确认该传感器损坏。温度与冷

却液温度传感器电阻近似值见表 4-4。

表 4-4　温度与冷却液温度传感器电阻近似值

温度/℃	电阻值/kΩ	温度/℃	电阻值/kΩ
-40	41	40	1.1
-30	23	60	0.57
-20	14	80	0.31
-10	8.6	100	0.18
0	5.4	120	0.10
20	2.3	140	0.06

故障分析：冷却液温度传感器损坏后，给电控单元（ECU）发送了错误的信号，电控单元（ECU）接收到错误的温度过高信号，启用了自我保护模式，采取了停机策略。

故障排除：更换冷却液温度传感器，发动机工作正常。

案例 12

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：发动机起动基本正常，但怠速不稳，忽高忽低，然后熄火，故障灯点亮。

故障检查：读取故障码为 324 车速信号问题。在对车速传感器检查时，发现该传感器线束插头处有包扎的痕迹，打开绝缘胶布后看到屏蔽线已断，信号线多股铜丝受损严重。经与客户了解得知，之前由于里程表显示不准确，检修过车速传感器和里程表，可能在检查车速传感器时，由于操作方法不当或失误对线束造成伤害，留下了隐患。

故障分析：车速传感器信号主要用于发动机的怠速、加减速期间以及自动巡航时的空燃比控制，由于车速传感器线束插头严重受损，导致车速传感器信号线受到干扰，发动机 ECU 接收到了不真实的信号，使得 ECU 失去了正确的判断，导致了上述故障现象。

故障排除：修复受损的车速传感器线束插头，故障得到排除。

案例 13

车型：潍柴重卡，博世电控系统。

故障现象：发动机能起动但伴有抖动，转速在 540r/min 马上就掉下来，也就是 2～3s，自动熄火。

故障检查：在短暂的着车过程中故障灯不亮，说明电控系统问题不大，重点检查燃油系统，低压管路及连接未见异常，拆开喷油器回油管、共轨管限压阀，用起动机带动发动机观察，当发动机有爆发声音时，看到共轨管限压阀喷出一股燃油，同时在数据流中显示轨压上升到 44MPa 后很快落到 28MPa，然后在 28～32MPa 之间波动。

故障分析：在高压共轨电控系统中，高压共轨管限压阀的设计，主要是为了确保共轨管内压力稳定在规定的压力值范围内，当压力超过设计极限时（一般为 180MPa），泄压阀打开以保证轨管压力不至于无限制的升高。本案例在起动时压力达到 44MPa 时，泄压阀就有燃油流出，所以可判定共轨管限压阀损坏。

故障排除：更换共轨管总成，发动机起动后正常工作，再无熄火现象。



案例 14

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：行驶途中突然熄火，但随后又能起动，行驶中熄火现象频繁发生，故障灯不亮。

故障分析：发动机能起动且能行驶，说明电控系统正常，导致熄火可能是突然断电或是线路某处有间歇性的搭铁或短路所至。

故障检查：此类故障应对线束的固定、线束插接器和有可能在车辆行驶过程中线束松动的地方重点检查，采取模拟试验的方法，在发动机工作时，对有可能造成熄火的部件、线束、插接器进行摇晃、拉动，目的是让故障重现。当对副熄火开关线束检查时，发动机突然熄火，经认真检查线束绝缘皮磨破，导线在受到振动时不定时搭铁，错误地把熄火信号送给了电脑，所以发动机突然熄火。

故障排除：对破损的线束进行修复并重新固定。

三、跛行回家故障

案例 15

车型：欧曼 6，博世电控系统。

故障现象：发动机起动正常，但无论空载还是重载，转速只能加到 1500r/min。

故障检查：用诊断仪读取故障码，报告有 1709 蓄压管限压阀执行或卡住；671 轨压传感器电压太高。查看主要数据流，怠速时实际轨压为 74.0MPa，额定轨压为 50.1MPa，燃油计量单元触发为 1161mA，燃油计量单元占空比为 15.9。

故障分析：柴油发动机高压共轨电控系统中，当主要传感器出现故障时，控制器将会启用失效策略，及采取跛行回家模式，限制发动机转速和转矩。其中，轨压传感器报告有信号电压太高，无论是传感器本身或线路短路、断路，发动机电脑都将认为轨压传感器失效，而进入跛行回家模式。本例故障就是一个典型的传感器失效保护模式。

故障排除：根据分析，可重点检查轨压传感器及其线路，当检查到传感器时，发现传感器线束插头虽在传感器上插着，但插头自锁机构未到位，致使传感器与线束插头接触不良，故而报告有传感器信号电压太高的故障码。将传感器线束插头与传感器插针处理干净，重新插好，发动机工作正常。

下面记录了几个重要的参数供大家检修时参考，见表 4-5。

表 4-5　部分数据流参数

项　　目	怠速	1500r/min	2000r/min
实际轨压/MPa	46	74	85
额定轨压/MPa	46	75	85
轨压传感器电压/V	1.53	2.15	2.35
计量单元触发/mA	1438	1370	1340
计量单元占空比/%	19	18	19

案例 16

车型：解放 J6，博世电控系统。

故障现象：行驶途中感觉有矬车现象，加速不畅，发动机只有1500r/min左右，故障灯点亮。

故障检查：该车使用仅仅半年时间，行驶里程不过10000km，用户称重载希望到现场维修。到达现场后，核实了故障现象，将诊断仪与车辆诊断座连接，读取到若干个故障码，然后删除故障码，仍有1122燃油量控制器处于最大值；7210喷油量限制装置超速故障码存在。

故障分析：燃油量控制器处于最大值，控制器将加大高压泵的供油量，燃油压力超高，泄压阀将被冲开，轨压下降（此时轨压在70.0～76.0MPa之间变换），控制器将限制发动机转速，进入跛行回家模式，此时加速踏板虽然起作用，但发动机转速最高只有1500r/min。

根据诊断仪报告的故障码和所了解的电控原理，结合维修经验，一般不会是电控系统的传感器、执行器或线路故障所至，大多数是由于使用了不合格的劣质燃油，特别是含水量较高的燃油，会使高压泵、喷油器柱塞发卡或磨损，造成上述故障的产生。

故障排除：由于有了一些维修经验，所以现场救援时就准备了各种滤芯和质量有保障的油水分离器（无检测功能，但有放水功能），待检查分析完将滤芯和油水分离器更换并排气，发动机正常工作。

随后记录了一些主要的参数以备参考，见表4-6。

表4-6　部分数据流参数

项　　目	怠　　速	1500r/min	2500r/min
实际轨压/MPa	45.5	70.8	96.3
额定轨压/MPa	45.0	70.6	95.9
轨压传感器电压/V	1.5	2.05	2.64
计量单元触发/mA	1412	1368	1319
计量单元占空比/%	19	19	18

案例17

车型：潍柴，华菱自卸车。

故障现象：起动发动机后，加速踏板踩到底，最高转速只能达到1500r/min。

故障检查：通过诊断仪读取到以下故障码：251/237踏板1/2错误；1381进气加热继电器错误；1651车速传感器故障；362机油温度传感器故障/温度过高；1123高/低压油路有泄漏；1709共轨泄压阀故障。记录后删除故障码，除车速传感器故障码被删除外，其他故障码删不掉。

从数据流中看到怠速时实际轨压与额定轨压偏差很大，并且压力一直上升，当达到174.3MPa时，故障灯点亮，此时，无论加速踏板踩下多少，发动机转速最高只有1500r/min。

故障分析：在柴油发动机电控系统中，当主要传感器或执行器出现故障时，控制器将采取失效策略，限制发动机转速和转矩输出，使系统进入跛行回家模式。本例有6个故障码删除不掉，根据电控原理分析，同时造成若干个器件损坏的可能性不大，况且此车能起动，并有1500r/min的发动机转速；再根据上述检查中看到的轨压一直上升且能达到174.3MPa，



说明轨管压力过高，泄压阀被冲开，出现上述现象。综合分析，该故障还应重点检查燃油系统，特别是燃油管路。

故障排除：对燃油系统进行检查时，听到高压泵上有“嗞嗞”声，发现高压回油管有鼓胀现象，再仔细查证落实回油管有被压伤挤扁痕迹，看来回油不畅应该就是导致轨压上升的主要原因。

更换被压扁的回油管后发动机正常工作。

案例 18

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机能正常起动，但转速只有 1500r/min，故障灯点亮。

故障检查：读取故障码为 134 共轨限压阀打开。首次起动后踩加速踏板，发动机能达到额定转速，但通过数据流观察发动机在起动后的几秒内实际轨压大于额定轨压。

故障分析：从故障码分析，共轨限压阀打开，是因为共轨管内压力超出高压极限，而导致共轨管压力超出极限的主要原因是，回油管路不畅和燃油计量单元得到了错误的信号，而从数据流中没有发现有关燃油计量单元的问题，所以应重点检查回油管路。

在柴油发动机高压共轨电控系统中，当发动机电脑检测到轨管压力超出高压极限或轨管限压阀打开，控制器将进入跛行回家模式，限制发动机转速，大多数情况下发动机转速最高为 1500r/min。

故障排除：对回油管路逐段检查，发现油箱内的回油管有堵塞现象，对其进行疏通处理，发动机工作正常。

案例 19

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：车辆行驶途中感觉加速无力，发动机转速最高只有 1500r/min，故障灯点亮。

故障检查：读取故障码为 134 共轨限压阀打开。用诊断仪读取数据流，轨压迅速升高到 180MPa，然后又降到 76MPa，这个现象能确定共轨限压阀正常，应重点检查燃油回油管路和燃油计量单元。检查油路，低压油路正常，回油畅通，但发现油品颜色异常。

故障分析：通过上述检查，轨管压力能升至 180MPa，而且还能降到 76MPa，说明轨管限压阀工作正常；对燃油管路检查未见异常，说明油路问题不大，只是油品颜色异常值得考虑。

共轨燃油系统对油品要求很高，而油品颜色异常说明油品质量差，微粒物多或含水量大，很可能导致燃油计量单元发生卡滞现象且在常开位置，造成轨管压力无限制升高，使得共轨限压阀打开，发动机进入跛行回家模式。

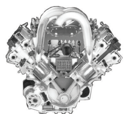
故障排除：更换燃油计量单元（因无配件，故更换高压油泵总成），清理油路更换燃油，发动机工作正常。

案例 20

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机起动基本正常，但最高转速只有 1500r/min，可勉强空载平路行驶，重载动力严重不足，故障灯点亮。

故障检查：通过诊断仪读取故障码有两个：一个为 231 进气压力传感器电压超出上限值；另一个为 223 进气温度传感器电压超出上限值。



根据故障码的提示，关闭点火开关，准备用万用表电压档对进气压力传感器进行检查，结果拔插头时发现该传感器线束插头与传感器插座可以很轻松地拔下来，插头与插座的锁片（自锁机构）早已损坏，导致其接触不良。

故障分析：柴油发动机高压共轨电控系统，发动机电脑检测到发动机温度超出极限范围时，会进入保护模式。本例故障是通过进气压力传感器检测到发动机温度过高，从而使控制器采取保护模式，使发动机进入跛行回家模式，所以重点考虑进气压力传感器的接触问题。

故障排除：修复已损坏的进气压力传感器线束插头，保证线束插头与传感器插座接触良好，再次起动发动机，转速能达到设定转速。

案例 21

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机工作正常，行驶途中偶尔出现踩踏加速踏板时发动机转速只有 1500r/min，故障灯点亮的情况。

故障检查：读取并删除故障码，但只有 254 油路进油阻力太大故障码删不掉，看来 254 有可能是真正的故障点。

故障分析：高压共轨燃油系统大体可分为高压和低压两大部分。低压油路应从燃油箱、各种滤清器、输油泵以及管路着手，这部分无论器件损坏或管路不畅，主要影响到高压泵的供油能力，进而影响到高压的产生和高压泵的输出；而高压部分则主要考虑高压泵、燃油计量单元、共轨管、喷油器以及回油管等，这部分出现故障时，大多出现高压过高、压力不足、泄压阀打开等现象。本案例所报告的故障码显然反映的是低压油路部分，应重点查找。而故障出现时发动机转速只有 1500r/min，说明发动机控制器启用了跛行回家模式，限制了发动机转速和转矩输出。

故障排除：对低压油路逐段检查时，发现从油箱出来至粗滤器的进油管有弯折的地方，其他管路、连接处未见异常，这可能就是导致进油阻力太大的真正原因。

为了保证进油畅通更换了低压油管，发动机正常工作。

案例 22

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机起动困难，且在将要起动的一瞬间发动机发出明显的“咔咔”声，发动机起动后转速也只能达到 1500r/min，故障灯点亮。

故障检查：用诊断仪读取故障码并记录，删除故障码后只存在 112 曲轴转速传感器故障，对其检查时，发现该传感器线束插头与传感器插座松动，有接触不良现象。

故障分析：柴油发动机高压共轨电控系统，控制器检测到曲轴转速传感器没有信号后，会导致起动困难，若行驶中，控制器会采取失效保护策略，使发动机控制进入跛行回家模式，靠单传感器（凸轮轴转速传感器）工作，所以会出现起动困难的现象。

故障排除：针对曲轴转速传感器的插头进行接触不良的处理，同时对其他传感器的连接情况进行了检查，发动机顺利起动。

案例 23

车型：豪沃重卡，电装系统。

故障现象：起动正常，发动机工作正常，行驶途中有时出现踩下加速踏板后，发动机转速却不上升，最高只有 1500r/min，且行驶无力的现象。但人为熄火后，再次起动发动机，



又能继续行驶，不定时地又会发生类似现象。

故障检查：车辆是开来的，通过对驾驶人的询问，得知每次出现加速不畅时，会看到发动机转速只有1500r/min，而车速表指针却指示到最大极限。

读取故障码，显示车速传感器信号断路或故障。

针对故障码所指的车速传感器进行检查，发现传感器线束插头松动，拔下后观察插头与插座的插簧和插片氧化严重，已失去铜质本来的光泽，严重接触不良。

故障分析：在高压共轨电控系统中，涉及几项传感器或执行器故障时的保护模式，其中当车速传感器出现短路或断路时，发动机电控单元将采取跛行回家模式。本例故障，驾驶人称故障发生时会看到车速表指针指向最高位置，故障码表明车速传感器有故障，实际检查发现传感器接触不良。综合分析，本例故障是由于车速传感器接触不良时好时坏，导致发动机电脑得到了车速超速的错误信号，使发动机进入了保护模式。

故障排除：将氧化了的插头插座处理好并且使其接触，故障得到排除。

案例24

车型：潍柴欧曼247kW，采用博世电控系统。

故障现象：行驶途中突然感觉加不上油，人为熄火后，再次起动，转速只有1000r/min。

故障检查：读取故障码，1709共轨泄压阀打开；72油门1信号1/2不正确；433排气制动对地短路，电源电压3低。

实际测量发现油门1传感器上没有5V电源，轨压传感器上也没有5V电源，将轨压传感器拔掉后，油门1上有了5V电源。

故障分析：在发动机电脑内部对油门1和轨压传感器共用了一个5V电源，而轨压传感器内部短路，导致油门1上5V电源被拉低，所以有电源电压3低的故障码。

电脑得到上述故障码后启用了失效保护模式，限制了转速，所以发动机转速只有1000r/min。

故障排除：更换一根高压共轨管（因无轨压传感器配件）后，发动机正常工作。

案例25

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机能正常起动，但转速始终在1000r/min，踩踏加速踏板也不起作用，故障灯点亮。

故障检查：读取故障码，221加速踏板信号异常，检查其线束连接正常，用诊断仪观察数据流，两倍关系不成立，进一步检查其工作电源，均正常，判定加速踏板传感器失效。

故障分析：在柴油发动机高压共轨电控系统中，使用的加速踏板传感器实际上有两个功能：其中油门1为主传感器，主要反映加速踏板踏下的行程，以此作为发动机的负荷信号传送给发动机电控单元；另一个油门2为副传感器，主要是监测主传感器的工作情况。在设计时，将两个加速踏板传感器的信号电压定为两倍的关系，发动机电控单元通过对两个加速踏板传感器信号的比例关系，来判断加速踏板传感器的工作情况，当两个信号电压的2倍关系不成立时，电控单元将采取失效策略，使控制器工作在跛行回家模式，限制发动机转速。

故障排除：通过对加速踏板传感器的检查，油门1、油门2的工作电源均正常，但两个信号电压不存在2倍关系，更换加速踏板传感器后，故障得到排除。表4-7为加速踏板传感器信号电压2倍关系表。

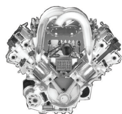


表 4-7　加速踏板传感器信号电压 2 倍关系

加速踏板传感器	怠速	1500r/min	2500r/min
油门 1 信号/V	0.74	1.67	4.0
油门 2 信号/V	0.37	0.84	2.0

案例 26

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机原地加速正常，但重载时动力严重不足，转速上升到 1500r/min 后就上不去了，故障灯点亮。

故障检查：读取故障码，253 低压油路供油不畅。据此对油箱、油管、滤芯进行检查，滤芯无含水现象，油箱通气阀未堵塞，但低压油管有弯折现象。

故障分析：为了保证高压泵的供油量，在燃油系统的低压管路中，要求低压供油管内径要大于等于 12mm，内径过小或弯折会造成供油不畅，特别是重载大负荷时更加明显。检查低压油管时发现油管有弯折现象，一定会影响低压油泵的输油量，进而影响高压泵的工作，致使在大负荷高转速时供油量不够，发动机电脑检测到低压油路供油不畅故障时，进入保护模式，发动机跛行回家。

故障排除：更换弯折的低压油管，发动机工作正常。

案例 27

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：行驶途中出现了发动机抖动、转速不稳的现象，即使将加速踏板踩住，转速也不上升，最高只有 1500r/min，表现出动力不足的故障，故障灯点亮。

故障检查：通过诊断仪读取故障码并删除故障码后，114 曲轴转速传感器信号异常的故障码却存在。观察数据流，踩踏加速踏板，转速超过 1500r/min 时，同步信号出现跳动，不能稳定在 48。据此，对其线束检查未见异常，对曲轴转速传感器进行静态检查发现已断路（参考值 860Ω），说明曲轴转速传感器失效。

故障分析：柴油发动机高压共轨电控系统具有自诊断和传感器失效运行模式，当 ECU 检测到曲轴转速传感器失效后，会通过单传感器（凸轮轴转速传感器）继续工作，但发动机会进入跛行回家模式，限制了发动机的转速和转矩。

故障排除：更换同型号的曲轴转速传感器。

案例 28

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：柴油机起动后最高转速只有 1500r/min，故障灯点亮。

故障检查：通过诊断仪读取故障码并记录有 134、1122、7210、356、699、134，删除故障码后 134 仍然存在，其故障码含义为共轨限压阀打开。

检查并排除低压油路故障，在对喷油器回油量检查对比时，发现第六缸回油量异常。为了确认故障，通过诊断仪做高压测试，当转速为 2200r/min 时，实际轨压仅为 90MPa，远没有达到设定值目标 130MPa。据此可判断高压系统泵油能力差或存在泄漏的地方。采用断缸测试，仍然是第六缸喷油器工作能力差。

故障分析：根据电控原理分析，结合实际维修经验，发动机电控单元一旦检测到轨管限



压阀打开，控制器将采取失效保护策略，发动机将工作在跛行回家模式，限制发动机转速和转矩输出。通过上述检查和故障码 134，故障原因可能为第六缸喷油器发卡或磨损。

故障排除：更换第六缸喷油器，发动机正常工作。

案例 29

车型：陕汽。

故障现象：行驶途中加速踏板踩到底转速只有 1500r/min，但空转正常。

故障检查：用诊断仪读取故障码只有 1713，其故障含义为 PCV 燃油计量小于计算值。据此，首先检查燃油计量单元（PCV）电磁阀及其线路，电磁阀静态时电阻值为 3.1Ω，传感器线束插头与传感器插座接触良好；再对燃油管路检查时发现粗滤器出口处有轻微泄漏痕迹。

故障分析：燃油系统如果是低压部分出现渗漏，会影响到输油泵的供油量，同时也就影响到高压产生，致使高压压力不足或是大负荷高转速时供油不足。当发动机电脑通过轨压传感器检测到压力不足时，会通过对燃油计量单元的控制进行轨压稳定，但由于低压管路有泄漏，控制器失去对轨压的调整能力，所以采取了失效保护策略，发动机进入跛行回家模式，限制了发动机转速和转矩输出。

故障排除：拆下粗滤器连接管，将密封圈更换，重新按规定力矩将管路连接，排空管路空气，发动机工作正常。

四、其他方面故障

案例 30

车型：解放悍威道依茨发动机。

故障现象：下坡使用排气制动时，排气制动无反应，但猛踏加速踏板一下（转速瞬间上升），排气制动指示灯点亮、排气制动起作用。

故障检查：用诊断仪读取故障码：有排气制动阀、油门 1、油门 2 方面的若干故障码，然后均已删除。

故障分析：排气制动的功能主要是在汽车下坡时，利于排气制动作用以避免长时间使用行车制动器，减少制动器摩擦以延长制动器使用寿命。在车辆制动中排气制动已经起到了积极的作用，越来越被人们重视和依赖。

而排气制动阀的工作是有设定条件的，符合条件时才能够工作。首先确保有关排气制动阀控制电路正常，然后，需要驾驶人将排气制动开关接通。除此之外，还有发动机转速必须符合出厂设定，CA6DL2 发动机在 2000～2500r/min 时工作，DEUTZ/6DE3/6DF3 发动机在 2200～2700r/min 时工作，而低于 1500r/min 时排气制动效果不明显或者不工作。也就是说，排气制动工作有最低转速和最高转速的限制，例如，CA6DL2 发动机在 2000r/min 以上，排气制动才能起作用，高于 2500r/min 时解除排气制动功能。

驾驶人报告的情况可能是在使用了排气制动开关时，发动机转速没有达到工作条件，所以只有急加速一下使发动机转速瞬间升高，排气制动指示灯才点亮，排气制动阀才进入工作状态。

故障排除：此例故障说明驾驶人不了解排气制动功能的使用条件，并非真正的故障。

案例 31

车型：玉柴，电装电控系统。

故障现象：使用排气制动时，故障灯点亮，排气制动不起作用。

故障检查：用诊断仪读取故障码记录后删除故障码，但 1681 故障码删除不掉。查阅故障码说明得知，1681 为排气制动输出信号开路或短路到地。于是对排气制动阀及插头、插座进行了检查，未见异常。

故障分析：故障码的含义有时表达很清楚，如某某传感器断路或某某传感器短路。但有些就不好理解，像 1681 故障码就不很清楚，其实在检修故障时，经常会遇到类似情况，有时需要走许多弯路才能修复。为了彻底搞清楚问题，找来了电路图，试图从电路图中得到启示。图 4-40 所示为排气制动控制电路原理。

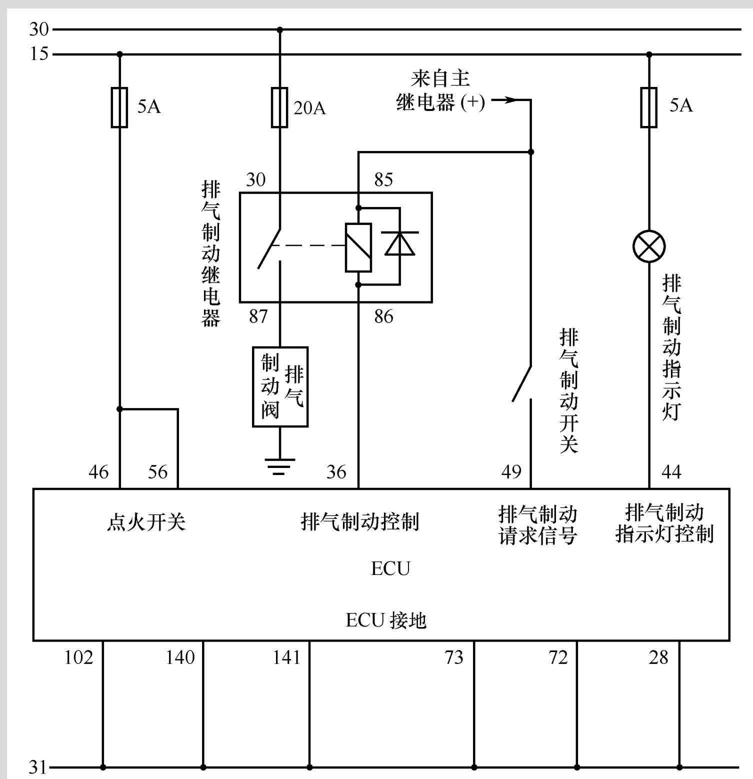


图 4-40　排气制动控制电路原理

通过对排气制动控制电路原理分析，发动机电控系统所报告的故障码大多数为传感器、开关信号或对执行器、继电器的输出控制信号，一般都有直接的连接关系，而不直接连接的属于间接控制的报告故障码较少，所以，本例故障应重点查找排气制动继电器的控制部分。

故障排除：经过对排气制动继电器控制部分线路的查找，原来是发动机 ECU 的 36 号排气制动继电器控制信号与排气制动继电器的 86 端子之间的线路断路，修复断路导线，故障排除。

案例 32

车型：潍柴，博世电控系统。



故障现象：发动机动力不足，但故障灯未亮。

故障检查：发动机起动正常，怠速平稳，原地加速发动机能达到额定转速，路试时转换多功能省油开关，动力性无明显变化，疑似多功能省油开关失效。

对多功能省油开关进行静态检查，发现其各档位电阻值无变化，对其各档位信号电压检查，均为2.9V。

故障分析：多功能省油开关也称多态开关，能根据整车的使用工况通过限制发动机的转矩和转速，从而使发动机运行在指定的转矩、转速区域中，即发动机输出的功率限制在指定的功率范围内，可降低整车燃油消耗。

在整车装载不同时，可以使用多功能省油开关达到节油1%～2%的目的，同时还可以提高发动机使用寿命。

多功能省油开关分为三档，即Ⅰ档、Ⅱ档、Ⅲ档，如图4-41a所示。

发动机输出功率分为最大功率（重载）Ⅲ档，中档功率（中载）Ⅱ档，最小功率（轻载）Ⅰ档。

多功能省油开关有两根导线均与发动机电脑连接，开关内通过电阻器来改变不同的档位。一般情况下，在开关脱开线束时测量，空载时9.8kΩ，中载时4.2kΩ，重载时1.5kΩ，如图4-41b所示。

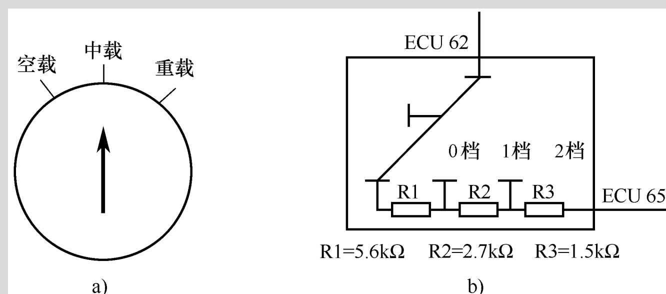


图4-41　多功能省油开关

a）省油开关档位　b）省油开关内部电路

多功能省油开关与线束连接正常的情况下，用万用表电压档测量两线之间空载时2.9V，中载时1.9V，重载时0.9V。

故障排除：根据上述分析和检查，多功能省油开关无论在何种状态，信号电压始终不变，且处于空载位置，所以更换多功能省油开关，路试一切正常。

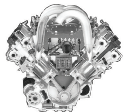
案例33

车型：奥威J6，博世电控系统。

故障现象：平路行驶正常，但重载特别是爬坡时，动力严重不足，打开多功能省油开关重载档，没有明显变化，但故障灯点亮。

故障检查：用诊断仪读取故障码有多个，记录后全部可以删除。根据驾驶人描述，重点检查多功能省油开关。关闭点火开关，将多功能省油开关取出并将线束插头拔下，用万用表电阻档测量各档位时两端子的电阻值，测量结果如下。

空载：9.8kΩ；轻载：4.3kΩ；重载：无穷大。



故障分析：根据维修经验，无论是博世电控系统还是电装电控系统，无论叫多功能省油开关还是多态开关，无论开关是两端子还是多端子，其共同的特点是，在两条信号线之间，各档位均应有不同参数的电阻值。检查开关时，发现重载档时电阻值为无穷大，判断该开关内部损坏，即开关内部的 2 位触点损坏或接触不良。

故障排除：更换同型号质量可靠的多功能省油开关，故障排除。

案例 34

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：车辆行驶途中尾气排放渐差，之后出现黑烟。停车熄火后，再次起动时很困难，并伴有黑烟。

故障检查：通过数据流观察，起动时轨压只能达到 16MPa，远远低于起动轨压。检查低压油路、高压油路，未见漏油、漏气现象。做喷油器回油量试验时，发现 3 缸喷油器回油量异常。

故障分析：喷油器回油量异常有可能是针阀磨损严重，使燃油雾化不良，导致燃烧不充分，排气管冒黑烟，也有可能是喷油器发卡，导致轨压不能稳定在规定压力范围内，使起动困难。无论哪种情况，三缸喷油器都需要更换，六缸中只有三缸喷油器损坏，可能是本身质量问题，其他喷油器不必考虑。

故障排除：更换三缸喷油器，发动机起动正常。

案例 35

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机冒黑烟。

故障检查：检查进气系统，空气滤芯及气路畅通、增压器正常；检查低压油路时发现柴油中有水。拆检喷油器，发现各个喷油器喷油头有不同程度的水锈，据此可判定由于柴油中有水导致喷油器针阀生锈卡滞。

故障分析：柴油中有水且未加装除水放心滤，导致喷油器针阀锈蚀卡滞，燃油雾化不良。

故障排除：加装除水放心滤，更换放心油品，更换喷油器。

案例 36

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机空载时正常，只是重载时冒黑烟，故障灯不亮。

故障检查：连接诊断仪随车观察数据流，发现重载，特别是爬坡时进气压力达到 150kPa（绝对压力），但瞬间就降到 60kPa，转速下降，排气管冒出黑烟，疑似气路存在漏气现象。

首先对进气系统空气滤芯及气路、增压器以及管路检查，未见异常；检查油路和油品也未发现异常现象。

故障分析：发动机起动正常，平路行驶基本正常，但重载或爬坡急加速时，进气压力变化较大且瞬间降低很多，看来进气系统存在着隐形故障。

故障排除：再次对气路进行仔细检查，发现空滤器后的一段橡胶软管较软，在急加速高转速时有被吸扁的迹象，导致发动机大负荷时进气量不足。更换进气软管，再次急加速和重载路试故障消失。



案例 37

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机工作一段时间后加速踏板失效不起作用，但停车一段时间后又恢复正常，再过一段时间同样的现象又会出现。

故障检查：通过观察数据流，发现发动机起动后冷却液温度会迅速升高到 107℃左右；对冷却液液位、水管等部件检查均未发现异常，但是水泵传动带有点松弛，故障原因很可能是冷却液循环不好、散热性能变差。

故障分析：柴油发动机高压共轨电控系统具有自我保护功能，当发动机温度超出极限温度时，发动机进入过热保护模式，加速踏板表现为失效状态，熄火后让发动机稍微冷却一段时间，冷却液温度降下来后，加速踏板又会起作用。

故障排除：对水泵传动带张紧处理后恢复正常。有时也会因为冷却液温度传感器性能变坏导致类似的故障。

案例 38

车型：潍柴，WP10　330N 系列柴油机，法士特变速器。

故障现象：发动机怠速时与变速器、驾驶室发生共振。

故障检查：起动发动机，观察怠速转速为 550r/min，共振现象较为明显，但略提升发动机转速，上述现象消失。

故障分析：在检查共振现象时，即使发生共振，仔细观察发动机转速仍然是很平稳的，而提高发动机怠速转速能避免发动机与变速器以及驾驶室的共振现象，说明发动机转速在 550r/min 时是该车的一个共振点，这也许是设计原因或装配原因不得而知。

故障排除：在没有有效的检测手段和必要的诊断设备的情况下，也就无法找到共振真正的原因，所以通过反复试验最终将发动机怠速调整到 620r/min 时，问题得到解决。这样虽然怠速转速略高一些，但避免了共振现象，也不会对发动机造成什么损害。

案例 39

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：当车速达到 60km/h 左右，发动机转速达到 1300r/min 时，整车抖动严重。

故障检查：起动发动机，在各种转速下试验均未发现有整车抖动现象。路试时，只有符合上述条件时发动机与传动系统发生共振，疑似传动轴动平衡失衡。

故障排除：更换整车传动轴，故障消失。

案例 40

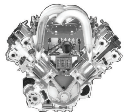
车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：怠速不稳且故障灯不亮。

故障检查：检查燃油管路、各传感器连接情况、线束，均未发现异常现象；通过观察数据流发现即使车辆没有移动，也有车速信号存在，并且在 0～7km/h 之间不停地变化。

故障分析：在车辆没有行驶时，出现了车速信号，并且还有变化。若车速传感器本身有故障，却未报故障码，那么，由此导致怠速不稳的可能性不大，也许是车速传感器信号线受到车辆电气设备的干扰，出现了错误的车速信号，导致发动机怠速不稳定。

故障排除：检查车速传感器，正常。仔细检查传感器线束时，发现其屏蔽线未接地，恢复屏蔽线接地后，怠速不稳故障排除。



案例 41

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：发动机动力不足，但故障灯未亮。

故障检查：对燃油系统的低压、高压管路以及油质检查均未发现异常，对空气滤芯及进气管路检查时，发现中冷器下端裂开长约 10cm 的口子，导致进气管漏气。

故障分析：柴油发动机电控系统喷油量的主要控制信号之一就是进气压力，如果进气不足会严重影响喷油量的计算，进气少，喷油量则少，进气量大则喷油量就大，如果进气系统出现严重的漏气现象，将影响喷油量的控制，所以会出现动力不足的故障。

故障排除：更换中冷器。

案例 42

车型：潍柴，博世电控系统。

故障现象：车辆行驶中，在过铁道时出现加不上油的现象，尽管将加速踏板踏到底，发动机转速上升缓慢，故障灯点亮。

故障检查：用诊断仪读取故障码有 143，其含义是 5 缸喷油器线束开路，据此对其进行检查，该喷油器接线柱连接处螺母虽拧紧，但未将导线接线柱压紧。

故障分析：故障发生是在过铁道途中，有可能是发动机电控系统线束或电气件受到颠簸、振动，导致了接触不良的现象。本例故障，检查 5 缸喷油器时，喷油器螺母虽拧紧，但接线柱却未压紧，这是出厂或过去检修时留下的隐患。之前未发生故障是因为喷油器螺母、螺杆以及接线柱未氧化，即使未压紧，也还接触良好，此次故障是由于各连接部分氧化，加之线束受到振动所至。

故障排除：处理喷油器接线柱及螺母，使之接触良好，重新将喷油器线束接线柱拧紧。

案例 43

车型：解放 J6。

故障现象：高、低速转换时无明显变化，故障灯不亮。

故障检查：首先检查位于变速杆上的高、低速选择开关，发现原装开关旁边又安装了一个普通电器开关，且导线外露，看来是原装开关损坏后新加的。

接通点火开关，在开关两端均没有发现有任何等级（5V 或 24V）的电压参数，疑似线路有断路的地方。这时，驾驶人称，换过开关后不久烧过一个熔丝，之后这个熔丝就不能上，一上去就烧，经常烧的那个熔丝是位于熔丝盒上的第 26 号熔丝。

通过万用表检测，开关上其中一根导线与 26 号熔丝直通，顺着开关另一根导线查找，未经变速杆护套直接穿下去到了发动机线束，并且看到这根导线有烧蚀的痕迹。继续查找，这根导线直接连接在位于变速器上的高、低速转换电磁阀上。

故障分析：检查到此，问题已经基本明白，是修理工给改装了一个开关，但未将线束在原来的变速杆护套内进行穿线，导致驾驶室落下后把改装的线束压破，发生短路而烧坏 26 号熔丝。

故障排除：因没有原装开关，仍然使用已经改装的开关，但是重新将线束穿入变速杆护套内，问题解决。

参 考 文 献

[1] 王丰元，宋年秀. 汽车维修专项技能培训教材-电喷发动机 [M]. 北京：人民交通出版社，2005.

[2] 宋福昌. 电子控制高压共轨柴油机故障检修 [M]. 北京：国防工业出版社，2007.

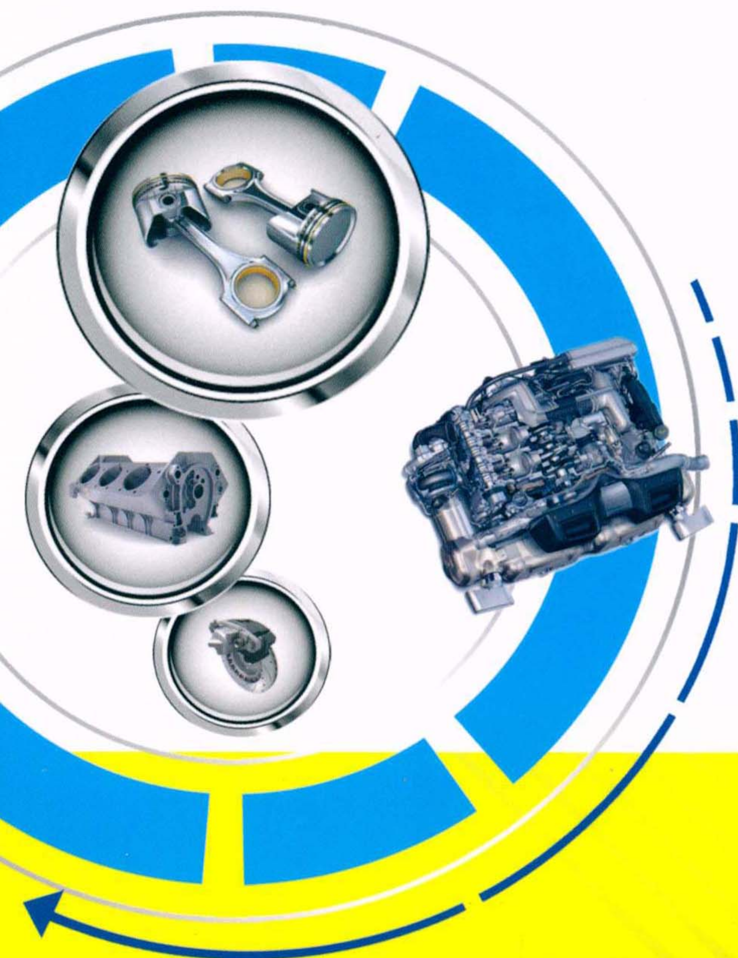
[3] 彭高宏. 汽车故障诊断设备使用一书通 [M]. 广州：广东科技出版社，2008.

[4] 邯郸北方学校. 怎样维修电控发动机 [M]. 北京：机械工业出版社，2003.

[5] 黄靖雄. 赖瑞海. 电控柴油机结构与原理 [M]. 北京：人民交通出版社，2008.

[6] 高宗英，朱剑明. 柴油机燃料供给与调节 [M]. 北京：机械工业出版社，2010.

[7] 邓东密，邓萍. 柴油机喷油系统 [M]. 北京：机械工业出版社，2009.



CHAIYOU FADONGJI
GAOYA GONGGUI DIANKONG XITONG
YUANLI YU GUZHANG JIANXIU

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
金书网：www.golden-book.com
教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信公众号

扫一扫，
更多精彩汽车
生活图书任你选

ISBN 978-7-111-49925-1
策划编辑◎丁锋 / 封面设计◎张静
编辑微博：http://weibo.com/u/1594752151



定价：49.90元